

# XVIII Colloque Internationale de Climatologie

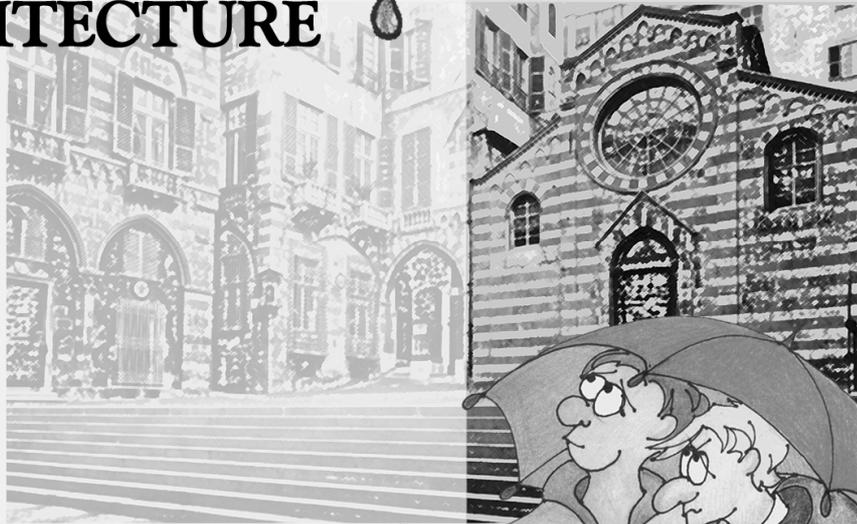
à la memoire de Roberto Rossetti, co-fondateur AIC



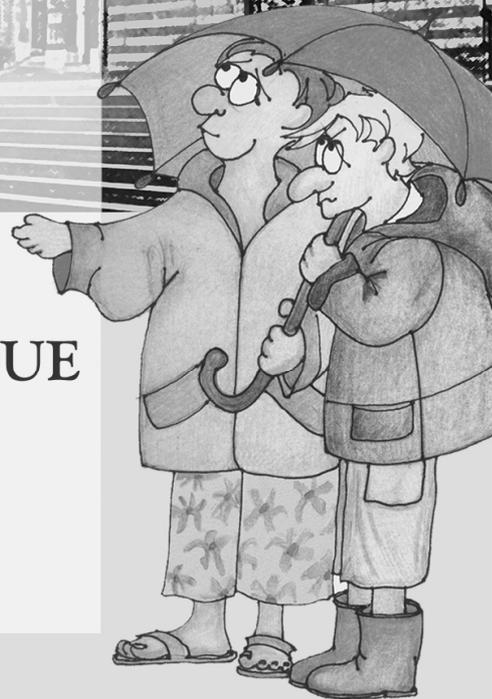
Association  
Internationale  
de Climatologie

Gênes 7 – 11 Septembre 2005

## CLIMAT URBAIN, VILLE ET ARCHITECTURE



ACTES DU COLLOQUE



Dipartimento di Storia e Progetto dell'Architettura del Territorio e del Paesaggio  
POLIS - Facoltà di Architettura - Università degli Studi di Genova  
Stradone S.Agostino, 37 16123 Genova (Italia)



*A Roberto Rossetti  
Co-fondateur AIC*

Le Colloque de l'Association Internationale de Climatologie revient en Italie. Après Pavia, en 1989, à Gênes en 2005. Une coïncidence? No, je peux dire non.

De ces jours, il sera l'anniversaire de la mort de Roberto Rossetti, co-fondateur AIC, mon maître de Climatologie et surtout mon ami. Moi et lui, nous avons plusieurs fois projeté de proposer une réunion en Italie mais, pour une raison ou pour l'autre, nous n'avons jamais réussi. Même si nous ne le disions pas ouvertement, nous préférons peut-être aller ailleurs pour passer quelques jours ensemble avant d'être emportés de nouveau par une autre année d'engagement didactique et de recherche.

C'est pourquoi, quand, en 2001 à Séville, j'ai proposé Gênes comme siège de la XVIII<sup>e</sup> entrevue, je l'ai fait en pensant que Roberto, déjà à la retraite, son impétueuse vitalité limitée par la maladie, aurait été de toute façon bien heureux d'y prendre partie, de revoir ses nombreux amis, les collègues avec qui il a partagé son amour pour la Climatologie.

Je suis arrivé trop tard, comme il arrive souvent: Roberto n'est plus là physiquement, mais il est encore parmi nous; il est en train de nous regarder, ses lunettes épaisses, tandis que nous discutons de moyennes et d'analyses topo-climatologiques, d'île de chaleur urbaine et de Global Change, essayant de comprendre les lois compliquées qui régissent notre Planète, il rit sournois, Roberto, conscient du fait que, là-haut, tout est plus clair et simple.

"Ciao" Roberto.

Gerardo

Gênes, Septembre 2005



**XVIII Colloque de  
L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE  
CLIMATOLOGIE**

**Gênes 7 – 11 septembre 2005**

**CLIMAT URBAIN, VILLE ET ARCHITECTURE**

**Dipartimento di Storia e Progetto dell'Architettura, del Territorio e  
del Paesaggio – POLIS Università degli Studi di Genova**

**AVEC LE PATRONAGE DE**

U.G.I., Commission de Climatologie de l'Union Géographique Internationale  
Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia  
Università di Genova  
Facoltà di Architettura  
Dipartimento POLIS  
Dipartimento di Scienze della Terra Università di Pavia  
Regione Liguria  
Provincia di Genova  
Comune di Genova  
Ordine Nazionale dei Geologi  
Centre culturel français de Gênes  
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure  
Associazione Nazionale Architettura Bioecologica.  
Società Meteorologica Italiana

**AVEC LA CONTRIBUTION FINANCIERE DE**

Fondazione Cassa di Risparmio di Genova e Imperia  
Dipartimento POLIS

---

édité par

**Gerardo Brancucci**  
Laboratoire de Géomorphologie Appliquée  
Département POLIS  
Université de Gênes

**CLIMAT URBAIN ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE**

**CLIMAT ET EROSION**

**CHANGEMENT CLIMATIQUE ET TOPOCLIMATOLOGIE**

**BIOMETEOROLOGIE**

**CLIMATOLOGIE GENERALE**

## SOMMAIRE

### *XVIII Colloque de l'A.I.C.*

#### « CLIMAT URBAIN, VILLE ET ARCHITECTURE »

#### PROLUSIONS

|   |    |
|---|----|
| <b>M.J. ALCOFORADO</b><br>REFLEXIONS SUR L'APPLICATION DE LA CLIMATOLOGIE URBAINE A L'AMENAGEMENT.....  | 13 |
| <b>L. MERCALLI</b><br>GLACIERS, VILLES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....  | 17 |
| <b>A.GUERCI</b><br>LES FACTEURS MESOLOGIQUES ET LES BIOTYPES HUMAINS.....   | 21 |
| <b>THEME 1: <u>CLIMAT URBAIN ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE</u></b>   |    |
| <b>W. ENDLICHER, T. DRAHEIM ET U. WOLF</b><br>VARIABILITE TEMPORELLE ET SPATIALE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS<br>L'AGGLOMERATION DE BERLIN.....   | 27 |
| <b>M. BERTHELOT ET A. GENIN</b><br>L'ILOT DE CHALEUR URBAIN A ORLEANS (REGION CENTRE, FRANCE) ET SON EVENTUELLE<br>RELATION AVEC LA PERSISTANCE NOCTURNE DE L'OZONE PENDANT LA PERIODE ESTIVALE<br>2004.....                        | 31 |
| <b>P. CARREGA, F. ROSA</b><br>ASPECTS DU CLIMAT URBAIN DE NICE : ILOT DE CHALEUR, ILOT DE FRAICHEUR, EFFETS DE<br>PAROI.....  | 35 |
| <b>G. PEHOIU, T. SIMION, O.M. MURĂRESCU</b><br>LE CLIMAT URBAIN ET LA POLLUTION DE L'AIR DANS LES VILLES INDUSTRIELLES. ETUDE DE CAS –<br>LA VILLE DE TARGOVISTE (ROUMANIE).....  | 39 |
| <b>A.KHLAIFI, S. DAHECH, G. BELTRANDO, A. IONESCU et Y. CANDAU</b><br>MODELISATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES EN SITUATION<br>ANTICYCLONIQUE ESTIVALE : EXEMPLE DE LA VILLE DE SFAX (SUD-EST DE LA TUNISIE)..... | 43 |
| <b>M.-L. HOUZÉ, T. CASTEL, Y. RICHARD</b><br>ANALYSE DE LA REPARTITION SPATIALE DES CONCENTRATIONS D'OZONE EN BOURGOGNE:<br>RESULTATS PRELIMINAIRES.....  | 47 |
| <b>I. ROUSSEL</b><br>POLLUTION ATMOSPHERIQUE EXPOSITION PERSONNELLE ET CLIMAT.....  | 51 |
| <b>Y. RICHARD, J. LEVEQUE, P. AMIOTTE-SUCHET ET R. METZGER</b><br>ETUDE ISOTOPIQUE ET SPATIALISATION DU CARBONE DANS L'AGGLOMERATION DIJONNAISE.....  | 55 |
| <b>J. FALLOT</b><br>PLAN DES MESURES D'ASSAINISSEMENT DE L'AIR POUR LES PETITES VILLES EN SUISSE.....   | 61 |
| <b>A.DUDOUIT. et H. QUENOL</b><br>POLLUTION PHOTOCHIMIQUE URBAINE EN MILIEU LITTORAL : EXEMPLE DE LA REGION CAENNAISE<br>(NORMANDIE).....   | 65 |
| <b>Z. HELAOUI</b><br>LES SEQUENCES DE JOURS A FORTES PLUIES DANS LES VILLES A RISQUE D'INONDATION EN<br>TUNISIE.....  | 69 |
| <b>P.P. KASTENDEUCH, G. NAJJAR, N. RINGENBACH</b><br>MODELISATION DU BILAN RADIATIF ET D'ENERGIE DANS UN CANYON URBAIN A STRASBOURG<br>(PROJET RECLUS).....   | 73 |
| <b>DAHECH S. et BELTRANDO G.</b><br>SPATIALISATION DE LA BRISE DE MER DANS L'AGGLOMERATION DE SFAX (TUNISIE) ET IMPACT<br>SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE.....   | 77 |
| <b>MIMET A. DUBREUIL V. QUENOL H. ROZE F., CLERGEAU P.</b><br>DYNAMIQUE DE LA VEGETATION EN RELATION AVEC LA TEMPERATURE DANS L'AGGLOMERATION<br>RENNAISE.....  | 81 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>S. BRIDIER, H. QUENOL et S. KERMADI</b><br>METHODES D'ANALYSE DE LA REPARTITION DES TEMPERATURES ET DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN A LYON.....   | <b>85</b>  |
| <b>E. AMOUSSOU, E. KEKE &amp; M. BOKO</b><br>LUTTE CONTRE L'EROSION PLUVIALE : CAS DE LA COMMUNE URBAINE D'ABOMEY-CALAVI.....  | <b>89</b>  |
| <b>M.C.C.T. AMORIM, M.M. DOS PASSOS, V.DUBREUIL</b><br>LA FORMATION DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN EN HIVER DANS UNE VILLE TROPICALE :EXEMPLE DE PRESIDENTE PRUDENTE, BRESIL.....                                     | <b>93</b>  |
| <b>G. NEAMU</b><br>QUELQUES TRAITs CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT ET DU TOPOCLIMATDANS LA REGION PERIURBAINE DE LA VILLE DE CRAIOVA.....   | <b>97</b>  |
| <b>N. MAIER ET I. HAIDU</b><br>RADIOSONDAGES ET RISQUES D'ORAGES A CLUJ-NAPOCA.....  | <b>101</b> |
| <b>L. GARCÍA-BARRÓN, A. SOUSA, V. JURADO, F. ANDRADE, J. MORALES</b><br>ANALYSE SAISONNIERE DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN A BADAJOZ (ESPAGNE).....   | <b>105</b> |
| <b>F. MENDONCA, V. DUBREUIL</b><br>EVOLUTION THERMIQUE ET APPORT DES DONNEES LANDSAT-7 POUR LA THERMOGRAPHIE DE SURFACE DE L'AGGLOMERATION URBAINE DE CURITIBA-BRESIL.....   | <b>109</b> |
| <b>J. MORALES, P. CANDAU, F. GONZÁLEZ-MINERO, L. GARCÍA-BARRÓN ET A. SOUSA</b><br>RELATION ENTRE LES INDICES BIOCLIMATIQUES ET LA CONCENTRATION ATMOSPHERIQUE DE SPORES DE DEUTEROMICETES À SÉVILLE (ESPAGNE)..... | <b>113</b> |
| <b>G. SAMBA et N. OVOUA</b><br>BRAZZAVILLE, EVOLUTION CLIMATIQUE OU EFFET DE L'URBANISATION ?.....   | <b>117</b> |
| <b>G. BELTRANDO et S. DAHECH</b><br>L' INTENSITE DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN A SFAX : APPORT DE L'IMAGERIE SPATIALE ET DES MESURES ITINERANTES.....  | <b>121</b> |
| <b>E. OGOUWALE et M. BOKO</b><br>INONDATION DANS LA VILLE DE TOGOUDO SUR LE PLATEAU D'ABOMEY-CALAVI : MANIFESTATIONS, INCIDENCES ET ADAPTATIONS HUMAINES.....  | <b>125</b> |
| <b>I. YABI, F. AFOUDA, M. BOKO</b><br>CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE A L'INTERIEUR DE LA VILLE DE COTONOU (AFRIQUE DE L'OUEST).....   | <b>129</b> |
| <b>R. PEDEMONTE, D. ROSA, M. RISO</b><br>RECHERCHE PRÉLIMINAIRE SUR LE CHAMP THERMIQUE DE LA VILLE DE GÈNES EN SITUATIONS ANTICYCLONIQUES D'HIVER.....   | <b>133</b> |

**THEME2: CLIMAT ET EROSION**

|   |            |
|---|------------|
| <b>M. CALMEL-AVILA, P.G. SILVA, T. BARDAJ, J.L. GOY, C. ZAZO</b><br>VARIATIONS CLIMATIQUES ET MORPHOGENESE HOLOCENEDANS LE BASSIN DU GUADALENTIN, REGION DE MURCIE, SUD-EST ESPAGNOL.....       | <b>139</b> |
| <b>G. BRANCUCCI et G. PALIAGA</b><br>UN AN DE MONITORAGE SUR LE "FUNGO DE PIANA CRIXIA": CONSIDÉRATIONS SUR LE POTENTIEL EROSIF DU CLIMAT.....  | <b>143</b> |
| <b>L. ZAHARIA G. IOANA-TOROIMAC, S. RUSU, G. CHIRILA</b><br>VARIATION DU CLIMAT ET EROSION DANS LA REGION DE LA COURBURE DE L'ARC CARPATIQUE (ROUMANIE).....                                    | <b>147</b> |
| <b>P. BONI, A. CARTON, L. LAURETI, I. MAGGI, C. MEISINA, C. OTTONE, L. PELLEGRINI, F. ZUCCA</b><br>UN SCENARIO DE L'ALEA ENVIRONNEMENTAL DANS LA ZONE COMPRISE ENTRE T. SCRIVIA ET T. NURE..... | <b>151</b> |
| <b>G. MÁHÁRA et O. GACEU</b><br>LES PLUIES TORRENTIELLES DE L'OUEST DES MONTAGNES APUSENI (LES CARPATES OCCIDENTALES DE LA ROUMANIE) ET LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.....                    | <b>155</b> |
| <b>M. ALEXE, I. H. HOLOBĂCĂ, V. SOROCOVSCI</b><br>MODELS DU BILAN D'EAU DANS LE BASSIN VERSSANT OCNA SIBIULUI.....  | <b>159</b> |

**Theme 3: VARIATION DU CLIMAT ET TOPOCLIMATOLOGIE**

|   |            |
|---|------------|
| <b>M.M.DOS PASSOS, V.DUBREUIL, R. BARIOU, J.L.N. SANT'ANNA</b><br>INFLUENCE DES TOPOCLIMATS SUR L'ORGANISATION DE L'ESPACE DANS LE NORD-OUEST DU PARANA-BRESIL..... | <b>165</b> |
|---|------------|

|   |            |
|---|------------|
| <b>C. NORRANT et A. DOUGUEDROIT</b><br>DIMINUTION SIGNIFICATIVE DES PRECIPITATIONS EN GRECE ET MODIFICATIONS DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE:LE CAS DE JANVIER DE 1951 A 2000.....  | <b>169</b> |
| <b>A. DOUGUEDROIT et C. NORRANT</b><br>MODIFICATIONS SIGNIFICATIVES DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE PLUVIOGENE DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN (1950 – 2000).....  | <b>173</b> |
| <b>G. DROGUE, L. WAHL, L. HOFFMANN, L. PFISTER</b><br>CARACTÉRISATION DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE EN DOMAINE TEMPÉRÉ SEMI-OCÉANIQUE : UN PASSÉ RÉCENT (1954-2003) POUR QUEL AVENIR ? .....  | <b>177</b> |
| <b>F. AVILA</b><br>MEMOIRES DU TEMPS EN VIC-BILH (SUD-UEST DE LA FRANCE)PAYSANS ET ALEAS CLIMATIQUES – 1960-2005.....   | <b>181</b> |
| <b>J.-M. MOISSELIN, B. DUBUISSON</b><br>EVOLUTION DES EXTREMES EN FRANCE A PARTIR DES SERIES INSTRUMENTALES.....  | <b>185</b> |
| <b>C. CHAIX, A. MARNEZY</b><br>UNE NOUVELLE APPROCHE DANS L'ETUDE DES VENTS A DIFFERENTES ECHELLES EN MILIEU ALPIN ET EN HIVER.....   | <b>189</b> |
| <b>S. ROME</b><br>BILAN THERMIQUE DE L'ETE 2003 EN CORSE : UNE CANICULE ?.....  | <b>193</b> |
| <b>M. MADELIN, G. BELTRANDO, L. LABBE ET C. JACQUART</b><br>APPORT DES SIMULATIONS DU MODELE MESO NH POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DU CHAMP DE VENT DANS LA MARNE.....  | <b>197</b> |
| <b>F. MOLDOVAN, A.E. CROITORU, E. E. HAUER</b><br>TEMPÉRATURES EXTRÊMES ABSOLUES EN ROUMANIE.....   | <b>201</b> |
| <b>F. FACCINI, P. BRANDOLINI, E. BONINO, M.PICCAZZO, F. OLIVARI, A. ROBBIANO</b><br>PHENOMENES DE CONDENSATION ET SOURCES PERENNES DANS LE PROMONTOIRE DE PORTOFINO (ITALIE).....   | <b>205</b> |
| <b>A.VIAU, K. CHOKMANI</b><br>RÉGIONALISATION DE MODÈLES AGROMÉTÉOROLOGIQUES DE PHYTOPROTECTION.....  | <b>209</b> |
| <b>I. HAIDU</b><br>SPATIALISATION DES INFORMATIONS CLIMATIQUES DANS UN PÉRIURBAIN DE RELIEF VARIÉ.....  | <b>213</b> |
| <b>M. ERPICUM, C. DE SWERT, T. &amp; E. THIBAUT</b><br>BROUILLARDS ET MAUVAISES VISIBILITES EN BELGIQUE.ANALYSE MENEÉ A PARTIR DES OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES EFFECTUEES DANS LES AEROPORTS CIVILS.....   | <b>217</b> |
| <b>Y. ZAHAR</b><br>LES SURPRISES CLIMATIQUES DE L'ANNEE 2003 EN TUNISIE. ALEAS OU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ?.....   | <b>221</b> |
| <b>M. ZYGMUNTOWSKI, L. JAEGER, N. KODAMA, I. LEHNER et J. ROST</b><br>RÉSULTATS DE MESURES PRÉLIMINAIRES DANS LE CADRE DU PROJET INTERREG IIIA 3c.10: IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE COMPORTEMENT DE LA VÉGÉTATION DANS LE FOSSÉ RHÉNANAUSWIRKUNGEN VON KLIMAÄNDERUNGEN AUF PFLANZENBESTÄNDE AM OBERRHEIN"..... | <b>225</b> |
| <b>M.O. MURĂRESCU, T. SIMION, G. PEHOIU</b><br>INFLUENCE DE LA VARIABILITE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES (1961-2000) SUR LE REGIME DE L'ÉCOULEMENT LIQUIDE DE RIVIERES DES SOUS-CARPATES DE IALOMITA (ROUMANIE).....  | <b>229</b> |
| <b>G. TCHIADEU &amp; K. HERNANDEZ</b><br>LES PHASES D'INSTALLATION DE LA SAISON DES PLUIES EN REGIME UNIMODAL : L'EXEMPLE DU CAMEROUN ET DU BENIN.....  | <b>233</b> |
| <b>N. MARTIN et P. CARREGA</b><br>CARTOGRAPHIE DU VENT A ECHELLE SPATIALE FINE : UTILISATION DU MODELE DIAGNOSTIQUE NUATMOS DANS LES ALPES-MARITIMES.....   | <b>237</b> |
| <b>M. FEKI, A. DOUGUEDROIT et V. DUBREUIL</b><br>VARIATIONS SPATIALES DU NDVI DE LA VEGETATION EN KROUMIRIE ET AUX MOGODS (TUNISIE) EN 1999.....  | <b>241</b> |
| <b>H. QUÉNOL, M. FORT, A. SAKAMOTO , L. SAKAMOTO, L. BARBIERO, F. GRADELLA et V. BACANI</b><br>CLIMATOLOGIE AUX ECHELLES FINES DANS UN ENVIRONNEMENT REPRESENTATIF DU PANTANAL DE LA NHECOLANDIA (BRESIL) : EXEMPLE DE LA SALINE DU MEIO.....   | <b>245</b> |
| <b>G. PANDI et V. SOROCOVSCHI</b><br>PARTICULARITÉS DU MICROCLIMAT DANS LE CRATÈRE VOLCANIQUE CIOMADU.....  | <b>249</b> |
| <b>L. JAEGER</b><br>LA DISTRIBUTION GLOBALE DES PRÉCIPITATIONS ET SES CHANGEMENTS DURANT LE 20 <sup>ème</sup> SIÈCLE.....   | <b>253</b> |

**THEME 4: BIOCLIMATOLOGIE**

|   |     |
|---|-----|
| <b>R. MOREL</b>   |     |
| INTERPRETATION CLIMATIQUE D'UN ESSAI D'ASSOLEMENT A LONG TERME EN RCA.....  | 257 |
| <b>F. HUARD, N. BRISSON, P. CLASTRE, J-P. GUINOT, F. RUGET, B. SEGUIN</b>   |     |
| LA VEILLE AGRO-CLIMATIQUE EN FRANCE :UN EXEMPLE D'EXPLOITATION OPERATIONNELLE D'UN MODELE DE CULTURE.....   | 261 |
| <b>E. TEODOREANU</b>  |     |
| LE POÈTE LATIN OVIDE ET LE CLIMAT DU PONT EUXIN.....  | 263 |
| <b>M. JARRAYA, G. BELTRANDO, M. BEN JEMAA, A. AYOUB</b>   |     |
| PATHOLOGIES RESPIRATOIRES DANS LE SECTEUR PUBLIC, VARIATIONS THERMIQUES ET AEROLOGIQUES A SFAX (TUNISIE).....   | 267 |
| <b>C.S. HOUSSOU &amp; E.W. VISSIN</b>   |     |
| TYPE DE TEMPS ET PATHOLOGIE DANS LA CIRCONSCRIPTION URBAINE DE KANDI (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST).....   | 271 |
| <b>SOUSA, J. MORALES, M. AGUILAR, P. GARCÍA-MURILLO et L. GARCÍA-BARRÓN</b>   |     |
| EXISTE-T-IL UNE RELATION ENTRE LA DISPARITION DU PALUDISME DANS LE SUD-OUEST DE L'EUROPE (DOÑANA, HUELVA) ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES RECENTS?.....  | 275 |
| <b>J-B. SUCHEL</b>  |     |
| LA PERCEPTION DES EXCES CLIMATIQUES DANS UNE CHRONIQUE PAYSANNE DU VELAY (FRANCE) AU XVIIIIE ET XIXE SIECLES.....                                       | 279 |
| <b>J. BARROS. J A. ZAVATTINI</b>  |     |
| LES VARIATIONS ATMOSPHERIQUES ET LES MALADIES DU SYSTEME RESPIRATOIRE PENDANT L'AUTOMNE ET L'HIVER AU DISTRICT FEDERAL, BRÉSIL.....                     | 283 |
| <b>W. CANDIDO de OLIVEIRA; M. L. PELUSO; D. VIECILI COSTA MASINI</b>  |     |
| LES INCENDIES DE LA VEGETATION DU PARC NATIONAL DE BRASILIA ET LEURS CONSEQUENCES DANS L'ATMOSPHERE DE L'ESPACE URBAIN DE LA CAPITALE BRESILIEENNE..... | 287 |
| <b>M. MPOUNZA et H. B. GOMA – BOUMBA</b>  |     |
| LE BILAN HYDRIQUE DANS LES SAVANES DU CONGO.....  | 291 |
| <b>S. FRATIANNI, A. BIANCOTTI, A. GIUFFRIDA</b>   |     |
| CLIMAT, TOURISME ET AMENAGEMENT DE LA COTE ADRIATIQUE:TYPES DE TEMPS POUR LE TOURISME D'ETE PENDANT LA PERIODE 1971-2003.....                           | 295 |

**THEME 5: CLIMATOLOGIE GENERALE**

|   |     |
|---|-----|
| <b>P. MAHERAS, K. TOLIKI, CHR. ANAGNOSTOPOULOU, E. FLOCAS et M. VAFIADIS</b>  |     |
| EVALUATION DES DONNEES DU GEOPOTENTIEL A 500hPa PRODUITES PAR LES MODELES DE CIRCULATION GENERALE (MCG) POUR L'EUROPE ET LA MEDITERRANEE..... | 301 |
| <b>B. POHL et P. CAMBERLIN</b>  |     |
| INFLUENCE DE L'OSCILLATION DE MADDEN-JULIAN SUR LA VARIABILITE INTRASAISSONNIERE DES PLUIES EN AFRIQUE DE L'EST (KENYA-TANZANIE).....         | 305 |
| <b>N. LEHTIHET, F. YUCEF ETTOUMI, A. ADANE, H. SAUVAGEOT</b>  |     |
| IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT SPATIO-TEMPOREL DE LA PERSISTANCE DES CHAMPS DE PRECIPITATIONS OBSERVÉS PAR RADAR.....                         | 309 |
| <b>F. DESIATO, F. LENA</b>  |     |
| LE CLIMAT EN ITALIE - L'ELABORATION ET LA RESTITUTION D'INDICATEURS AU TRAVERS DU SYSTEME INFORMATISE SCIA.....                               | 313 |
| <b>J. A. ZAVATTINI</b>  |     |
| LES ÉTUDES DU RYTHME CLIMATIQUE DU BRÉSIL AU COURS DE LA PÉRIODE 1971-2000.....   | 317 |
| <b>I. H. HOLOBÁCA, A. E. CROITORU</b>   |     |
| RELATIONS ENTRE LES QUANTITÉS JOURNALIERES DES PRÉCIPITATIONS ET LES TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE AU CENTRE DE LA ROUMANIE.....         | 321 |
| <b>P. POINSOTTE, L. NICCOLI, C. VITI</b>  |     |
| ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES PLUIES INTENSES SUR DES PETITS BASSINS VERSANTS TOSCANS .....   | 325 |
| <b>MATARI, L. ZEUDMI-SAHRAOUI</b>   |     |
| PLUVIOMETRIE DU HOGGAR.....   | 329 |
| <b>C. HOUNDENOU E. W. VISSIN ET J. PERARD</b>   |     |
| MISE EN EVIDENCE DU POIDS DES « MOIS HUMIDES » DANS LA PEJORATION PLUVIOMETRIQUE DU BASSIN DE LA SOTA (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST).....        | 333 |
| <b>E. W. VISSIN, M. BOKO &amp; J. PERARD</b>  |     |
| SECHERESSE HYDROLOGIQUE ET TARISSEMENT DANS LE BASSIN DE LA SOTA (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST).....   | 337 |

**R. M'BAYI**

DEFICIT D'EVAPORATION ET CARACTERISATION DU RISQUE HYDRIQUE POTENTIEL AU SUD DE LA REPUBLIQUE DU CONGO.....341

**H. KUTIEL, K. TOLIKA, CHR. ANAGNOSTOPOULOU, E. FLOCAS, ET P. MAHERAS**

COMPARAISON DES FREQUENCES DES TYPES DE CIRCULATION OBSERVEES (DONNEES DE NCEP) ET SIMULEES (DONNEES DE HadAM3P) EN GRECE.....345

**O. PLANCHON**

LES PRINTEMPS PLUVIEUX DES ANNEES 1980 :RETOUR SUR UNE PARTICULARITE METEOROLOGIQUE ET CLIMATIQUE DE LA FIN DU VINGTIEME SIECLE EN EUROPE OCCIDENTALE.....349

**I. VADUVA**

LES PARTICULARITES DE L'HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR DANS LE SUD ET SUD-EST DE LA ROUMANIE.....353

**H. BEN BOUBAKER et L. HENIA**

LA TORNADE DU 13 NOVEMBRE 2004 SUR LE CAP BON EN TUNISIE.....357

**M. FAZZINI et A. GIUFFRIDA**

UNE NOUVELLE PROPOSITION QUANTITATIVE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DANS LE TERRITOIRE DE L'ITALIE: PREMIERS RESULTATS.....361

**O. RAAF et A. ADANE**

EVALUATION DES PRECIPITATIONS PAR LA METHODE DES AIRES FRACTIONNELLES.....365

**J. ELHAJRI**

SITUATIONS ANTICYCLONIQUES AUTOMNALES ET PRINTANIERES ET REPARTITION DES TEMPERATURES EN TUNISIE.....369

**S. HARROUNI, A. GUESSOUM**

ETUDE DE LA PERSISTANCE A LONG TERME D'UNE VARIABLE CLIMATIQUE: LE RAYONNEMENT SOLAIRE.....375

**M. LAUFFENBURGER, C. KERGOMARD**

VALIDATION D'UN MODELE CLIMATIQUE EN VUE D'UNE SIMULATION DU CLIMAT FUTUR DANS LES ALPES DU SUD (FRANCE).....379



## REFLEXIONS SUR L'APPLICATION DE LA CLIMATOLOGIE URBAINE A L'AMENAGEMENT

M.J. ALCOFORADO

*Centro de Estudos Geográficos.  
Universidade de Lisboa.  
1600-214 Lisboa. Portugal  
Email: mjalcoforado@mail.telepac.pt*

### Résumé

Lors d'un colloque dont le thème est « Climat urbain, ville et architecture », il peut être intéressant de discuter l'application des connaissances climatiques à l'aménagement et au dessin urbains. Quelques caractéristiques de l'atmosphère urbaine, dont les aménageurs doivent tenir compte pour un développement durable, seront passées en revue: l'îlot de chaleur urbain, la ventilation et la qualité de l'air. La connaissance du climat urbain permet de prendre des mesures, parfois simples, qui peuvent améliorer considérablement le confort et la santé des citadins.

**Mots clés :** Climatologie urbaine, îlot de chaleur, aménagement, dessin urbain.

### Abstract

As the main theme of this conference is "Urban Climate, City and Architecture", it may seem interesting to discuss the use of climate knowledge for urban planning and design. Some features of urban climate that should be taken into account by planners will be dealt with: thermal parameters (mainly the urban heat island), ventilation and air pollution. Some simple climate guidelines may help to maintain or enhance comfort and health of city dwellers.

**Key-words:** Urban Climatology, urban heat island, planning, urban design

### Introduction

Bien que l'influence de la ville sur le climat et surtout sur la pollution de l'air soit connue depuis très longtemps, la première étude dite de climatologie urbaine date seulement d'il y a deux cents ans et il n'y a que 80 ans que la climatologie urbaine est considérée comme une branche de la climatologie.

Selon Oke (2005), il reste encore un long chemin à parcourir en ce qui concerne la validation de divers modèles (statistiques, physiques, numériques), l'établissement de lois générales, l'étude d'impacts et une efficace application à l'aménagement, entre autres.

Dans les années 1970, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a édité deux notes techniques sur l'application de la climatologie urbaine (Page, 1976; Chandler, 1976). Des actualisations sont en cours de préparation, car on constate que le dialogue entre les scientifiques et les aménageurs continue assez difficile, en partie en raison de l'inexistence de publications traitant des relations concrètes entre le climat et l'urbanisation, faute d'un langage commun et peut-être d'intérêt de part et d'autre (Oke, 1984; Eliasson, 2000).

Bien que les études qui essaient de dégager le « coût » du climat urbain soient assez rares (Ca et al., 1998), on connaît les principaux problèmes climatiques urbains qui se posent sous divers climats régionaux et certaines stratégies peuvent être proposées en ce qui concerne l'effet thermique (en particulier l'îlot de chaleur urbain), la ventilation et la qualité de l'air (Scherer et al., 1999), auxquels on devra ajouter un phénomène climato-hydrologique : le risque des crues urbaines.

### 1. L'effet thermique

#### L'îlot de chaleur urbain

Dans pratiquement toutes les villes un îlot de chaleur existe pendant la nuit et, dans certains cas, aussi pendant la journée. La quantification de cet effet doit être analysée avec précaution. La définition de l'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain ( $\Delta T_{u-r}$ ) est la suivante : la différence

entre la température la plus élevée en ville et la plus basse des alentours « ruraux » (Oke, 1987). Définition apparemment très simple, mais d'application concrète bien ardue, parce que le calcul de  $\Delta T_{u-r}$  est fait des façons les plus diverses, qui seront commentées dans cette communication. En outre, dans certains travaux, des moyennes (journalières, mensuelles et même annuelles) sont calculées, d'autres auteurs séparant les données nocturnes des données diurnes, d'autres encore ne se référant qu'aux valeurs de  $\Delta T_{u-r}$  par nuits calmes et sans nébulosité.

### L'îlot de chaleur doit-il être mitigé ?

En climats chauds l'îlot de chaleur est un élément extrêmement négatif pour le confort et la santé des habitants. En climat froid, la situation est contraire. En climats à saisons thermiquement contrastées, le problème n'est pas simple à résoudre, puisque l'îlot de chaleur serait favorable en hiver et est certainement très défavorable en été. Par ailleurs, les vagues de chaleur récentes et la morbidité et mortalité qui leur sont associées, font pencher la balance vers les défenseurs de la mitigation de l'îlot de chaleur, même en région tempérée à hivers froids. Par exemple aux Etats-Unis ou en Allemagne, les municipalités procèdent soit à l'augmentation de la surface des espaces verts en ville, soit à l'intégration de plans d'eau, soit – là où c'est encore possible - à la diminution de la densité de construction, en veillant à ce que la relation entre la hauteur des immeubles et la largeur des rues ne dépasse pas la valeur 1. Ce sont là des mesures à l'échelle mésoclimatique/locale. D'autres mesures, qui visent à modifier les microclimats, consistent, par exemple, à augmenter l'albedo (en multipliant les surfaces de couleurs claires) ou encore à la création de jardins sur les toits des immeubles ou à la plantation d'arbres le long des rues.

Il est clair que toutes ces mesures sont souhaitables également pour les régions « chaudes ». Si le climat est humide, il faudra faciliter la ventilation et créer de l'ombre à l'extérieur, soit par l'orientation appropriée des immeubles (E-W), soit à partir de la plantation d'arbres. En régions arides, la ventilation peut être néfaste. S'il y a de l'eau disponible, l'irrigation des espaces verts pourra contribuer à la diminution de l'îlot de chaleur urbain.

Par contre, en climat froid, l'îlot de chaleur doit être maximisé. Une forte densité de construction et une correcte orientation des rues diminuant la vitesse des vents sont de norme; à l'échelle microclimatique, il faudra veiller au bon isolement des immeubles, à l'utilisation de couleurs plutôt foncées pour diminuer l'albedo, et à placer les fenêtres sur les façades sous-le-vent des immeubles. En certaines villes des hautes latitudes (comme Reykjavik, 64°lat. N, Steinecke, 1999), le « chauffage » du sol favorise aussi l'îlot de chaleur urbain qui, néanmoins, peut être négatif pendant les longues journées d'été, en raison de l'ombre portée par les immeubles du centre-ville.

## **2. La ventilation**

En ce qui concerne le vent, étant donné que les stations à anémographes sont rares, on a souvent recours à la modélisation numérique et physique, dont la validation n'est pas aisée. Trois cas doivent être considérés.

### 2.1. La réduction de la vitesse du vent synoptique

En raison de l'augmentation de la rugosité due à la croissance de la ville contribue à une forte pollution de l'air (effet négatif pour tous les types de climat) et à augmenter l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (effet qui n'est positif que dans les hautes latitudes, comme indiqué plus haut). À Athènes, Santamouris et al. (2001) ont calculé que la ville aurait diminué 10 fois la ventilation naturelle de la région. À Lisbonne, Lopes (2003) a calculé une réduction de 3m/s de la vitesse du vent du Nord (plus de 50% de fréquence annuelle; 75% en été) jusqu'au début des années 80 et prévoit une plus forte diminution encore si la ville continue à se densifier vers le Nord.

2.2. Un effet contraire doit être évité en ville : la canalisation de vents forts, par exemple par effet Venturi. En région de vents forts fréquents (Jim et Liu, 1997), de gros efforts sont menés en ce qui concerne la prévention de la chute d'arbres urbains. La recherche sur le coût des dommages dus aux

vents forts doit être menée en collaboration avec les agences de protection civile et les compagnies d'assurances (Abrassart, 1997).

2.3. En cas de faible vent de gradient, une « brise de campagne » se développe souvent au niveau du sol entre la campagne, plus fraîche, et la ville (Barlag et Kuttler, 1990/91 ; Lemonsu et Masson, 2002). Des « couloirs de ventilation » doivent être prévus pour que ces vents faibles puissent accéder à la ville et contribuer au renouvellement de l'air urbain chaud et pollué par l'air plus frais et, en principe, moins pollué des alentours ruraux. Ces brises sont plus fréquentes pendant les nuits d'été des latitudes moyennes, saison où leur action sur le confort et la santé des habitants de la ville est la plus importante.

## **2. La qualité de l'air**

La concentration des divers polluants atmosphériques est mesurée par des réseaux fixes et plusieurs municipalités possèdent aussi des unités mobiles pour procéder à une densification temporaire du réseau. Les limites qui ne doivent pas être dépassées sont fixées par la loi pour chaque polluant. La concentration de la pollution atmosphérique dépend surtout des émissions, mais aussi de diverses variables météorologiques. Les températures urbaines élevées favorisent des réactions chimiques qui donnent lieu à des polluants secondaires, comme l'ozone (Oke, 1987) mais elles sont, en même temps, favorables à la diminution de la pollution de l'air, car l'instabilité de l'air est plus forte en ville qu'à la campagne. Une efficace ventilation contribue aussi à l'augmentation de la qualité de l'air. Les roses de pollution (Andrade, 1996 ; Jauregui, 2002) sont des instruments d'analyse intéressants, parce qu'elles indiquent la provenance des divers polluants. Surtout en région tropicale sèche, le problème des poussières doit être analysé en détail.

La diminution des émissions n'est pas toujours possible à court terme. Pour certains auteurs (Jenks et al. ed., 2002), la ville « compacte » conduirait à la diminution de la pollution de l'air, puisque les besoins en transport seraient minimisés ainsi que les émissions. Cette thèse est contestée par plusieurs auteurs (Mills, 2003), étant donné que l'absence de ventilation, dans une ville à hauts immeubles et rues proportionnellement étroites, conduira certainement à une augmentation de la concentration des polluants, même si leur émission est moindre.

## **Conclusion**

Les nombreuses publications récentes sur la connaissance du climat urbain et l'apparition de quelques autres publications, traitant des résultats de l'application de ces résultats en diverses régions climatiques, démontrent un intérêt croissant pour la climatologie urbaine appliquée. En 1984, Oke se demandait : La climatologie urbaine est-elle incompréhensible ou inapplicable ? Vingt ans plus tard, le même auteur (Oke, 2005) estime que des mises au point théoriques et sur les techniques d'acquisition des données doivent être multipliées, pour que les résultats des différentes études puissent être comparés et utilisés. Les climatologues sont en train de se rapprocher des utilisateurs, en divulguant les caractéristiques du climat urbain et leur possible implication pour l'aménagement et le dessin urbains, dans l'espoir d'établir un dialogue fécond, déjà amorcé dans quelques pays.

## **Bibliographie**

- ABRASSART, E., 1997. Les risques liés au climat: point de vue d'un réassureur. In *Les risques liés au climat*, Université de Bourgogne, Dijon, Vol. LXXXVII, 135-140.
- ANDRADE, H., 1996. A qualidade do ar em Lisboa. Valores médios e situações extremas. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, XXXII(62), 43-66

- BARLAG, A.B. ET KUTTLER, W., 1990/91. The significance of country breezes for urban planning. *Energy and Buildings*, Vol. 15/16, 291-297.
- CA V. T., ASAEDA, T., ABU, E.M., 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*, Vol. 29, 83-92.
- CHANDLER, T.J., 1976. *Urban Climatology and its relevance to urban design*. WMO, TN N°149, Genève.
- ELIASSON, I., 2000. The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, Vol. 48, 31-44.
- JAUREGUI, E., 2002. The climate of Mexico City Air Basin. Its effects on the formation and transport of pollutants. In Fenn, M.; de Bauer, Hernández-Tejeda, T. (Eds.), *Urban air Pollution and Forests*. Ecological Studies Series 156, Springer, Berlin.
- JENKS, M.; BURTON, E.; WILLIAMS, K. ed. 2002 (first published 1996). *The compact city: a sustainable urban form?* Spon Press, Oxford, 350p.
- JIM, C. Y., LIU, H.H. 1997. Storm damage on urban trees in Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, vol. 38, n.1-2, 45-59.
- LEMONSU, A., MASSON. V., 2002. Simulation of a summer urban breeze over Paris, *Boundary Layer Meteorology*, 104, 463-490.
- LOPES, A., 2003. *Modification du climat de Lisbonne comme conséquence de la croissance de la ville. Le vent, les bilans d'énergie et les températures de terrain*. (en portugais). PhD Thesis, University of Lisbon, 369p.
- MILLS, G., 2003. The Meteorologically Utopian City Revisited. *Fifth International Conference on Urban Climate*, University of Lodz, Poland, CD, 4p.
- OKE T. R., 1984. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings* Vol. 7, 1-10.
- OKE, T. R., 1987. *The Urban Boundary Layer*, Routledge, London.
- OKE, T.R. 2005. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, in press.
- PAGE, J.K. 1976. *Applications of building climatology to the problem of housing and building for human settlement*. WMO, TN 150, Genève
- SANTAMOURIS, M. ed. 2001. *Energy and Climate in the urban built environment*. James and James, London, 402p.
- SCHERER, D., FEHRENBACH, U., FEIGENWINTER, C., PARLOW, E., VOGT, R., 1999. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimising urban planning processes. *Atmospheric Environment*, Vol. 33, 4185-4193.
- STEINECKE, K., 1999. Urban climatological studies in the Reykjavík subarctic environment, Iceland. *Atmospheric Environment*, vol.33, 4157-4162.

## GLACIERS, VILLES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L. MERCALLI

*Société Météorologique Italienne,*  
[www.nimbus.it](http://www.nimbus.it) – [luca.mercalli@nimbus.it](mailto:luca.mercalli@nimbus.it)

*Sur le sommet du Mont-Cenis, entre l'hospice et la Grand' Croix, on charge de la glace venant des glaciers de Rochemelon, et destinée à approvisionner Turin.*  
ADOLPHE JOANNE (1860) - Itinéraire descriptif et historique de la Savoie

Pourquoi parler de glaciers dans un colloque de climatologie urbaine, et de plus à Gênes, face à la mer ? On peut trouver plusieurs réponses :

l'étude des changements climatiques s'appuie surtout sur des séries de données mesurées dans les villes, objet de critiques en raison de l'îlot de chaleur urbain. Bien, les glaciers, en tant que indicateurs naturels des variations thermiques, peuvent apporter des preuves solides aux longues séries des observatoires urbains ;

Les glaciers sont très souvent des réservoirs d'eau douce et d'énergie hydroélectrique pour des villes en contrebas ;

La fonte des glaciers participe à l'augmentation du niveau de la mer, phénomène dangereux pour les villes côtières.

Les glaciers sont un terrain touristique pour les populations urbaines.

Sans arriver au cas extrême de la ville de La Rinconada au Pérou, placée à 5400 m à côté du glacier San Francisco qui abrite la mine d'or la plus haute au monde et oblige 20000 personnes à vivre dans de conditions épouvantables, les villes liées aux glaciers sont nombreuses.

On peut citer les grandes villes américaines sur le côté pacifique des Rocheuses, comme Seattle, où la municipalité se pose la question si le recul des Cascade Glaciers peut changer la disponibilité d'eau potable dans son réseau et même changer le régime des débits et la production hydroélectrique.

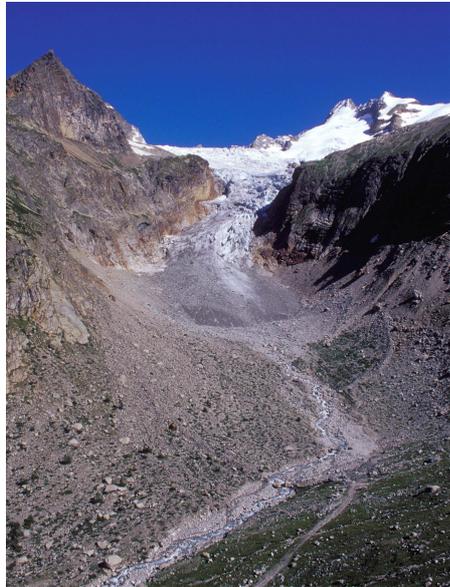
Aussi dans les Andes, les villes du côté pacifique de l'Équateur et du Pérou, zones à faible apport de précipitations, sont alimentées par les eaux de fonte glaciaire.

Et bien sûr, les Alpes : sont des dizaines les villes Françaises (Grenoble, Chambéry), Suisses (Géneve, Brig, Interlaken, Locarno...), Italiennes (Aosta, Sondrio, Bolzano, Trento) et Autrichiennes (Innsbruck, Villach) à s'appuyer directement sur les eaux glaciaires.

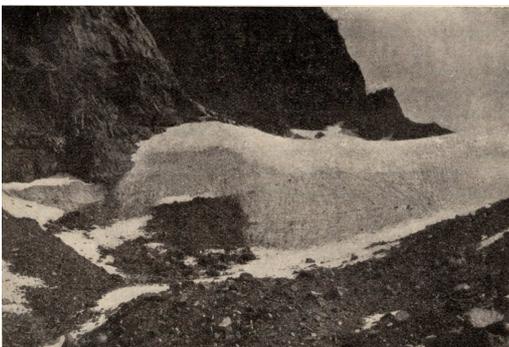
### **Les glaciers, indicateurs des variations climatiques**

Depuis plus d'un siècle les fluctuations des glaciers des Alpes (longueur, épaisseur, vitesse d'écoulement) sont été suivis. Plusieurs grands glaciers ont reculé de plus d'un kilomètre (depuis 1850 – fin de la Petit Age de Glace - le glacier du Lys au Mont Rose et le glacier de Tré-la-Tête au Mont Blanc ont perdu 1500 m) et se sont fragmentés dans beaucoup d'unités plus petites. Par contre des petits glaciers sont complètement disparus. On estime que dans les dernières 150 années les Alpes ont perdu entre 40 et 50% de leur surface glaciaire. Entre 1850 et 1973, les glaciers de la Suisse ont perdu 27% de leur surface. Basé sur les observations par satellite, un échantillon de 270 glaciers ont perdu 20% de leur surface entre 1973 et 1998. Un modèle de calcul a évalué une perte de 30% d'ici 2025 (PAUL & AL., 2004), c'est à dire moins du 50% de la glace présente en 1970-80, valeur plongeant au 5% en 2100.

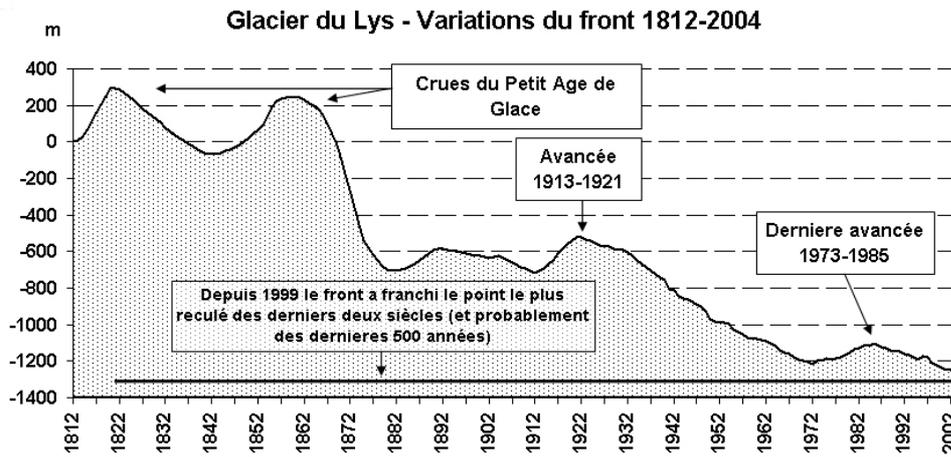
Le recul s'est particulièrement accéléré lors des derniers vingt ans, suite à l'augmentation des températures estivales : dans ce période les bilans de masse montrent une perte d'environ 1 m eq. eau par an, avec des valeurs exceptionnelles pendant l'été 2003, quand on a enregistré sur les Alpes des pertes de 3 m d'eq. eau. Mesures par satellite sur la « Mer de Glace » au Mont Blanc on a révélé une diminution d'épaisseur de  $1 \pm 0.4$  m/an (période 1979–1994) à  $4.1 \pm 1.7$  m/an en 2000–2003. Le recul des glaciers bien s'accorde avec les données météo mesurées par les observatoires des villes alpines, traitées avec techniques d'homogénéisation, et élaborées de façon régionale par BOEHM et al. (2001), qui montrent une augmentation de  $1,1^{\circ}\text{C}$  depuis 1890.



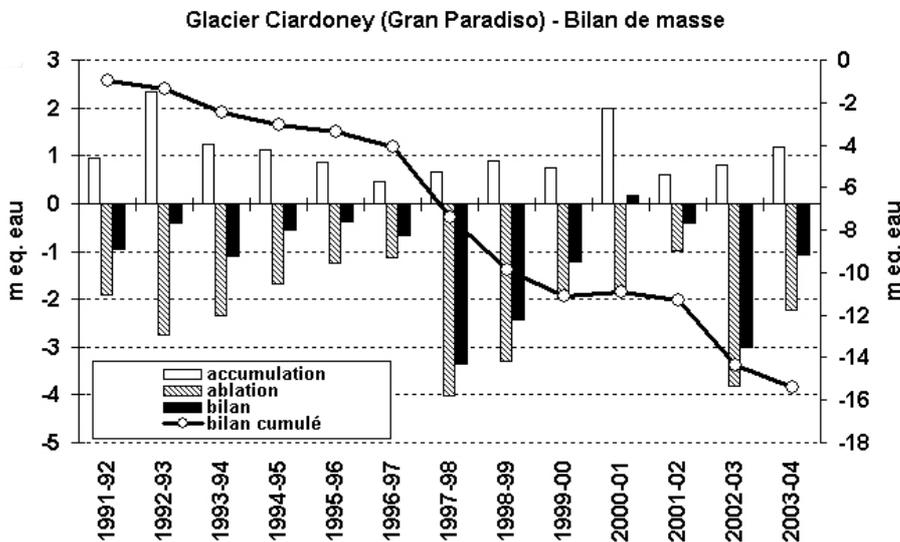
*Glacier de Pré-de-Bar, côté Italien du Mont Blanc, vu en 1897 et en 2002 : le front a reculé d'environ 700 m.*



*Le petit glacier de la Porta Nord (massif du Grand Paradis) en 1929 (à gauche) est complètement disparu en 2000 (image à droite, depuis MERCALLI ET CAT BERRO, 2005).*



Le glacier du Lys au Mont Rose, depuis la dernière avancée du 1850 (Petit Age de Glace) a reculé d'environ 1500 m et se retrouve aujourd'hui dans sa position la plus réduite.



Glacier Ciardoney, massif du Grand Paradis, altitude moyenne 3000 m : bilan de masse 1992-2004. Dans la période de mesure le bilan moyen annuelle a été -1,1 m eq. Eau. L'été 1998 et celle de 2003 ont enregistré des bilan de -3 m eq. eau.

### Glaciers et ressources en eau

Bien que disponible seulement dans les mois d'été, l'eau de fonte des glaciers représente une contribution importante aux débits des rivières et à la production hydroélectrique. A titre d'exemple, pendant la très chaude été 2003, la perte moyenne de glace sur les Alpes a été évaluée à 3 m eq. eau ; dans la plaine du Po, les débits se sont fortement réduits, en menaçant l'agriculture et le refroidissement des usines thermoelectriques, avec plusieurs black-out locales. Dans ces conditions, on estime que les eaux de fonte glaciaires éculées de juin à aout des 500 km<sup>2</sup> de glaciers sur le coté Italien des Alpes, ont été de l'ordre de 1,5\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, soit 1,5 km<sup>3</sup>, un peu plus du volume

du Lac d'Orta (1,3 km<sup>3</sup>). Ce débit a bien sûr représenté un secours pas négligeable pendant les jours de sécheresse et de canicule.

### Glaciers et niveau de la mer

Les glaciers de montagne (excluant Groenlande et Antarctique) selon l'IPCC peuvent contribuer à l'augmentation du niveau de la mer de 0,12 m vers 2100, à peu près le 23% du total attendu (environ 0,5 m). La sensibilité a été estimée en 1,1 mm d'augmentation de niveau de la mer par an et par degré de température (BRAITHWAITE ET RAPER, 2002). C'est donc pour ça que toutes les villes en bord de mer, même si loin des glaciers, ont à s'occuper de leur santé. Une des meilleures écoles de glaciologie est née à l'Université de Utrecht, dans les Pays Bas, où il n'y a pas de glaciers, mais où on a des soucis face à l'augmentation du niveau de la mer !

### Glaciers et tourisme

L'importance des glaciers comme terrain de vacances, surtout quand ils sont très proches des grandes villes (Plateau Rosa, entre Zermatt et Cervinia, proche de Turin et Milan, Stelvio, proche de Milan...), c'est évident. Il est confirmé par l'idée un peu bizarre conçue par les domaines de ski d'été d'Andermatt (Suisse) et de Stubai-Eisgrat (2900 m, Tirol, Autriche), qui en mai 2005 ont décidé de mettre une couverture de survie en mousse de PVC (1 cm d'épaisseur) sur des zones des glaciers de Gurschen (2961 m) et de Stubai (2900 m). Le but est de protéger des rayons du soleil lors de l'été ces glaciers alpins qui ont beaucoup souffert de la canicule 2003 et des températures en hausse de ces dernières années. Sur le glacier du Gurschen, la première partie de l'opération, avec 3000 m<sup>2</sup> emballés sur la rampe de descente au Gemsstock va coûter plus de 65.000 euros à Andermatt. Au cours des 15 dernières années, le glacier du Gurschen s'est en effet affaissé d'une vingtaine de mètres au départ de la station amont en empêchant l'accès aux pistes. Ces couvertures seront retirées à l'automne 2005, entreposées, puis réutilisées durant l'été suivant. Au Tirol 16 hectares de pistes ont été emballées en 2005 dans le Stubaital, Oetztal, Kaunertal et Piztal, le 5% du domaine skiable local. Bien que sous la surveillance des glaciologues de l'Université d'Innsbruck qui vont faire des mesures d'ablation sur les zones emballées, il s'agit d'une œuvre illusoire et commerciale pour protéger la glace des méfaits du réchauffement climatique. Les anciens de Neustift im Stubaital, le village Autrichien en bas du Eisgrat, se souviennent des prières adressées à Dieu pour arrêter l'avance des glaciers sur les près ; maintenant ils prient pour arrêter l'ablation qui menace le travail de 1,2 million de Tyroliens liés de quelque façon à l'industrie du ski d'été.

### Bibliographie

- BERTHIER E., ARNAUD Y., BARATOUX D., VINCENT C., REMY F., 2004 - *Recent rapid thinning of the "Mer de Glace" glacier derived from satellite optical images*. Geophysical Research Letters, 31.
- BOEHM R., AUER I., BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., SCHOENER W., 2001 - *Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series*. Int. J. of Climatology, 21:1779-1801.
- BRAITHWAITE R. J., RAPER S. C. B., 2002 - *Glaciers and their contribution to sea level change*. Physics and Chemistry of the Earth, 27:1445-1454.
- MERCALLI L., CAT BERRO D., 2005 - *Climi, acque, ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese*. Ed. Società Meteorologica Subalpina, Bussoleno.
- PAUL F., HUGGEL CH., KÄÄB A., SALZMAN N., MAISCH M., HAEBERLI W., 2004 - *Glacier change and related hazards in Switzerland*. The diminished earth - an Atlas of Global Change, UNEP, GRID, Geneva .

## LES FACTEURS MESOLOGIQUES ET LES BIOTYPES HUMAINS

A. GUERCI

*Cattedra di Antropologia  
Dipartimento di Scienze Antropologiche-DiSA  
Università degli Studi di Genova*

Quelle est la part des *influences des agents atmosphériques et du milieu* sur le biotype humain?

Nous reconsidérons, ci-après, certaines hypothèses de recherches que nous avons avancées il y a plus de 20 ans <sup>(1)</sup>. Malgré les années passées il nous semble que le thème ait été négligé par les chercheurs, bien que ce soit sur le rapport « milieu / vivant » que se base tout processus évolutif.

Nous analyserons synthétiquement les actions du soleil, de la lune, du climat, de la température, de l'humidité, du sol, de la pression barométrique, de l'état électrique et du régime des vents en proposant certaines réflexions sur le comportement humain.

### Soleil

Nul ne saurait nier l'action biologique du soleil. Il est la source directe et indirecte de toutes manifestations vitales. Le soleil domine la biogéographie par son émission d'énergie et par ses cycles, ses successions de chaud et de froid, de jour et de nuit, de saison et d'année.

Les taches solaires quand elles apparaissent intenses, signent ces orages électro-magnétiques dont le retentissement biologique avait été étudié en France pour la première fois par l'abbé Moreux. Deux médecins et un astronome, Sardou, Faure et Vallot, ont montré une exacerbation générale de la morbidité au début du passage des taches au méridien.

Le bain de soleil favorise chez l'homme le développement musculaire soit par excitation des filets du sympathique périphérique se rendant aux muscles striés, soit par modification du métabolisme du calcium, dont on connaît le rôle vis-à-vis de la tonicité de la fibre musculaire.

### Lune

L'influence lunaire est aussi biologiquement appréciable.

Plusieurs faits observés sur les animaux et les végétaux nous paraissent probants. Par exemple :

les indigènes des îles Samoa pêchent le *Palolo viridis* qui monte à la surface de la mer pour sa danse nuptiale, le jour du dernier quartier de la lune, un jour avant et un jour après. On a voulu invoquer le mécanisme des marées dans ce processus biologique, mais même en aquarium, les rythmes de la lune gardent leur influence ;

les agriculteurs sèment après la nouvelle lune pour obtenir plus de tiges et de feuilles fourragères, et en lune décroissante pour avoir plus de grains ;

les fermiers se rendent compte que l'éclosion des poussins est favorisée entre la nouvelle lune et le premier quartier ;

les vigneronnes savent les accords subtils du soleil, de la lune et des vins pour les récoltes des bonnes années ;

les bûcherons ne coupent pas le bois à la lune croissante, car plein de sève, il pourrit plus facilement ;

les marchands de poisson vendent mieux leurs crustacés à la pleine lune, car leurs tissus sont imbibés d'eau ;

on a observé que la lumière lunaire blanchissait le lin, mais détériorait des étoffes et même le marbre.

---

<sup>1</sup> Martiny M., Brian L., Guerci A., *Biotypologie humaine*. Masson ed., Paris, 1982.

Nous renvoyons à la lecture de ce volume, pour les références bibliographiques signalées dans ce texte.

Rappelons en outre que les Chinois relataient, plusieurs siècles avant Jésus-Christ, dans le *Neil Tsing* :

«Quand la lune commence de naître, énergie et sang commencent à se purifier, l'énergie commence de circuler. Quand la lune est pleine, énergie et sang ont plénitude, chair et muscles sont fermes. Quand la lune se vide, la chair s'éteint, vaisseaux et méridiens se vident, l'énergie quitte la forme qui reste seule».

Comme l'a si judicieusement écrit R. Allendy. « rien comme le rôle de la lune n'est plus connu du public et moins des savants contemporains ».

### **Climat**

Le climat avec tous les facteurs géographiques qui le composent, sol, atmosphère et saisons, agit indiscutablement sur les biotypes.

A l'échelon de l'espèce et à très longue échéance, le climat façonne probablement les populations humaines, à l'échelon de l'individu, il les modifie temporairement. Mais ces aspects phénotypiques ne se transmettent probablement pas génétiquement.

Les variations constitutionnelles qui ne comportent aucune modification génétique d'organes marquent, somatiquement, une prépondérance fonctionnelle, et peuvent modeler des proportions corporelles qui se transmettront, en apparence, héréditairement, si les conditions climatiques extérieures persistent.

Pour un lieu donné, le climat reste composé de divers facteurs. Mais dans son ensemble, les plus marquants sont: la *température et le degré hygrométrique*. Les variations de l'état du sol, de la pression barométrique, de l'état électrique, du régime des vents, dans une certaine mesure, conditionnent l'association de ces deux facteurs primordiaux, ou en dépendent.

Il semble que dans la moyenne de leurs complexes le climat :

froid et humide accentue la brévilignité,

chaud et sec accentue le normolignité,

froid et sec accentue la longilignité.

Ce rapport entre variabilité climatique et caractéristiques somatiques a été codifié dans la « règle de Allen »

L'humidité atmosphérique augmente la conductibilité de l'air, et accentue le contact de l'organisme avec le milieu ambiant. L'humidité froide est mieux supportée par les occidentaux que l'humidité chaude, car celle-ci entrave l'évaporation cutanée et gêne la régulation thermique. La morbidité infectieuse augmente par l'humidité. Sur le plan biotypologique, l'humidité accentue la brévilignité hydrophilique des tissus et si elle est froide, elle aggrave les troubles rhumatoïdes des brévilignes et améliore souvent le nervosisme des longilignes.

Arsène Dias a montré que l'humidité pouvait augmenter les oedèmes chez les cardiaques, les rénaux, les myxoedémateux, les obèses.

### **Sol**

Il agit de diverses manières, par sa hauteur, son inclinaison, son influence sur l'état hygrométrique de l'atmosphère. Mais c'est surtout par les éléments oligo-métalliques qu'ils contiennent et qui sont indispensables à la vie, que l'influence des terrains joue.

Parmi les éléments plus pondérables, le calcium abondant dans les terrains crayeux, absent dans le granitique, a un rôle important.

La fragilité osseuse, la décalcification dentaire, l'insuffisance du calcium humoral, devraient être plus fréquentes sur les sols privés de calcium. Les biotypes maigres, nerveux, spasmophiles longilignes pourraient être plus nombreux. Cependant, peut-être par carence d'iode ou par un

phénomène biologique de compensation, on trouve souvent des sujets arrondis, hypothyroïdiens, parfois goitreux.

A. Scarpa a émis l'hypothèse d'une corrélation étroite entre la composition chimique du sol (et en particulier la carence de calcium) et certaines manifestations hystéro-choreutiques, caractérisées par des tremblements fréquents et des mouvements cloniques chez des populations y demeurant.

### **Pression barométrique**

Des auteurs comme Spilmann, Schotter, Piery, Vles et d'autres, ont montré que parmi les avertisseurs du mauvais temps par chute de la pression atmosphérique, l'homme tient une place intermédiaire entre l'hygromètre et le baromètre, signalant l'anormal après le premier, mais avant le second instrument.

Un fait est incontestable, l'altitude forge les individus. Un exemple caractéristique a été étudié par Carlo Monge sur les Quechuas de Bolivie. Ces indigènes ont un aspect d'emphysémateux, avec un énorme thorax globuleux. Ils compensent par une réaction morphologique la diminution de la pression atmosphérique et la raréfaction d'oxygène.

La baisse de pression crée aussi un déséquilibre vago-sympathique, modifie le pH sanguin, et son action semble plus apparente chez les longilignes que chez les brévilignes et normolignes.

Arsène Dias a montré la fréquence de l'oedème aigu du poumon chez les brévilignes et Favry celle des hémoptysies chez les longilignes avec les baisses de pression.

Encore Dias a montré chez d'autres sujets, et en été, le déclenchement d'accidents hépatiques et d'algies coeliaques par dépression barométrique.

Budai suppose que la chute de pression agit en donnant naissance à des phénomènes d'osmose transsudative et exsudative plus intenses que normalement.

### **L'état électrique.**

Quant à l'électricité atmosphérique, elle joue un rôle certain parmi les facteurs de différenciation du tempérament humain

Il existe un champ électrique de l'atmosphère, entre la terre chargée négativement et l'air qui l'est positivement, c'est dire qu'un déplacement des charges électriques se produit de bas en haut. La différence de potentiel est de plus de 100 volts par mètre d'altitude pour des stations de grand air, de 30 à 100 pour celles de plein air, et de moins de 30 pour les neutres.

L'air enfin peut être négatif, avec une direction des lignes de force inverse au voisinage de cours d'eau rapides, de sources hyperthermales, de grottes naturelles ou artificielles.

Pech a défini un facteur d'importance capitale qu'il a dénommé «indice de mutation» et qui est «la différence d'énergie potentielle électrique existant entre les tissus des êtres vivants et le milieu extérieur avec lequel ces tissus sont en contact».

Le corps humain est une solution d'électrolytes, il est baigné dans un champ électrique, il en subit les influences.

Ce champ électrique ne s'exerce dans un sens favorable que si l'atmosphère est positive.

L'élasticité musculaire, l'amplitude et la fréquence des mouvements respiratoires, le génitalisme, subissent alors une exaltation fonctionnelle.

En champ nul, la vitalité de l'individu et celle de l'espèce diminuent: c'est le cas des citadins.

Suivant Laignel-Lavastine, l'électricité positive est défavorable aux sympathicotoniques parce qu'elle est trop excitante, alors qu'elle améliore la vagotoniques.

D'une façon très générale, on peut dire qu'en principe :

le climat électrique de plein air convient à l'équilibre des normolignes et à la sensibilité des longilignes,

le climat électrique neutre exagère la brévilignité.

### **Le régime des vents**

Il modifie aussi le tempérament. Certains vents ont des actions caractérisées.

Prenons quelques exemples.

Dans la région de Montpellier, Aimes a observé, lorsque soufflaient les vents du Sud ou du Sud-Est, des modifications de caractère. Il lui a semblé que c'est surtout chez les nerveux (minces) que l'on constate de la mélancolie avec sensibilité suraiguë, chez les colériques (normolignes) une irritabilité plus marquée, et chez les deux des algies à localisations diverses.

Mouriquand a montré la gravité desséchante du vent du Midi dans les crèches lyonnaises.

Berdnt a noté le même phénomène pour un vent identique des Alpes, appelé Foehn.

Il semble que ce ne soit ni la température, ni la dépression barométrique, ni la sécheresse qui soient le facteur nocif. Pour Dieudonné, Chaize, Pressat, les troubles constatés seraient dus à un état électrique modifié dans sa conductibilité par une augmentation du rapport des ionisations positives et négatives, normalement inférieur à l'unité.

Les recherches de M. Curry sont très intéressantes à ce sujet. Convaincu de l'indissolubilité du lien entre la personnalité de l'homme et les grands événements cosmiques, il chercha à déchiffrer les secrets de l'atmosphère à la recherche de l'agent climatique biotrope. Il pensa l'identifier dans l'*aran*, l'ozone proche du sol, et dans les phénomènes d'oxydation de l'atmosphère qui s'en suivent. Sa typologie réactionnelle explique les diversités de réaction du système nerveux végétatif à l'aide de l'image phénotypique de l'homme. Il observa que les taux bas d'*aran* excitent le sympathique alors que les taux élevés excitent le vague.

Il classifia en W, K et M les divers types.

Le type W, plus sensible aux grades faibles d'*aran*, donc aux fronts chauds, a le visage rond, rosé, de grands yeux, un nez large, une bouche charnue.

Le type K, plus sensible aux grades élevés d'*aran*, aux fronts froids, a le visage allongé, pâle, des petits yeux, un nez long et fin, des lèvres étroites.

Le type M, intermédiaire, est sensible aux oscillations du taux d'*aran*.

La modalité d'action de cet agent météoro-climatologique, qui comme l'a judicieusement mis en évidence Curry, agit profondément sur le comportement individuel, serait ainsi expliquée: les divers gradients de l'ozone atmosphérique seraient captés par des chimio-récepteurs, telle la tunique fibreuse des alvéoles, de là aux riches innervations vagales, et en partie, du système sympathique, puis au diencéphale, à l'hypophyse et les signaux sont enfin triés vers les autres glandes endocriniennes.

### **Magnétisme terrestre**

Divers auteurs ont étudié aussi l'influence du *magnétisme terrestre* sur l'organisme humain. La résistance électrique du corps peut varier suivant la position du sujet par rapport au méridien magnétique.

Regnard et Muller ont cru démontrer que c'est dans la position couchée, tête au nord, que la résistance est la plus élevée.

Il est de fait que certains biotypes, spécialement ceux de la catégorie longiligne, ne dorment bien que couchés dans cette position.

## **THEME 1**

# **CLIMAT URBAIN ET POLLUTION** **ATMOSPHERIQUE**



## VARIABILITE TEMPORELLE ET SPATIALE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS L'AGGLOMERATION DE BERLIN

W. ENDLICHER, T. DRAHEIM ET U. WOLF

*Institut de Géographie, Humboldt-Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Allemagne*

### Résumé

La concentration des particules en suspension et leur variabilité temporelle et spatiale à Berlin est le sujet de la recherche. On peut montrer que la concentration augmente de nouveau depuis l'an 2000 à cause de la hausse du trafic. Les types de temps jouent un rôle important dans la variabilité temporelle. Les grosses poussières montrent une plus grande variabilité spatiale que les particules plus petites.

**Mots clé:** Pollution atmosphérique, particules en suspension, types de temps, climat urbain de Berlin

### Abstract

The concentration of particulate matter in Berlin and its variability in time and space is the subject of this contribution. The concentration rises again since the year 2000 due to increased traffic. Weather types play an important role for the temporal variability of the pollution by particulate matter. Larger particles show a greater spatial variability than smaller ones.

**Key words:** Air pollution, particulate matter, weather types, urban climate of Berlin

### 1. Le problème: La pollution atmosphérique dans la métropole allemande Berlin

La nouvelle directive européenne 1999/30/CE met en relief l'importance grandissante de la qualité de l'air ambiant et du contrôle de la pollution atmosphérique dans des limites de plus en plus strictes. A partir de 2005, la valeur limite journalière de  $PM_{10}$  ne doit pas dépasser  $50 \mu g/m^3$  et ceci pas plus de 35 fois par année civile. A partir de 2010, une radicalisation est prévue, c'est-à-dire la valeur limite annuelle doit baisser pour les  $PM_{10}$  jusqu'à  $20 \mu g/m^3$ . Un dépassement d'une concentration journalière de  $50 \mu g/m^3$  sera permis seulement 7 fois par année civile. En outre, l'Organisation Mondiale pour la Santé a proposé comme nouvelle valeur limite annuelle pour les particules plus petites que  $2.5 \mu m$  ( $PM_{2.5}$ )  $20 \mu g/m^3$  (WHO 2000).

Ce développement, c'est-à-dire la baisse des valeurs limites permises, est la conséquence de la meilleure connaissance de l'influence néfaste de la pollution de l'air ambiant pour la santé (WHO 2003; WHO 2004). L'aspect géographique de ce problème, c'est-à-dire la variabilité spatiale de la pollution atmosphérique par particules prenant en considération aussi bien les spécificités du lieu de mesure que des facteurs météorologiques, a été le sujet de deux projets de recherche à l'Institut de Géographie de la Humboldt-Universität de Berlin en Allemagne.

### 2. Méthodes de la recherche

Le premier projet a étudié la variabilité spatiale et temporelle des immissions de  $PM_{10}$  à Berlin sur la base des données du réseau officiel des mesures en continu de la ville de Berlin (BLUME), mais a pris en considération aussi les différents types de temps. Le changement temporel à moyen terme entre 1991 et 2003, c'est-à-dire après la chute du mur, et les conditions de pollution de l'air ambiant en différents quartiers urbains ont été les deux points essentiels de cette recherche.

Le deuxième projet s'est basé sur des propres programmes de mesures. Entre mars 2003 et juin 2004, nous avons recueilli durant chaque semaine simultanément à 19 points de la ville des polluants atmosphériques pour les analyser ensuite au laboratoire. Les substances suivantes ont été étudiées:

- concentration du  $NO_2$
- concentration des grosses poussières (particules avec un diamètre aérodynamique  $>2.5 \mu m$ )
- pourcentage selon la taille des grosses poussières
- pourcentage des particules noires (carbone) et transparentes (minéraux) de la grosse poussière

- concentration des poussières fines (particules avec un diamètre aérodynamique  $<2.5 \mu\text{m}$ ) et pourcentage du carbone (à six endroits seulement)
- teneur en anions et cations ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ).

Les méthodes choisies sont relativement bon marché. Elles permettent un jugement sur la représentativité spatiale des points de mesures. Certes, ces analyses donnent seulement des valeurs moyennes hebdomadaires, mais elles livrent des informations spatiales assez détaillées.

Les valeurs de la concentration des polluants, la taille des particules ainsi que leur composition chimique sont des soi-disantes „empreintes digitales“ (fingerprints) spécifiques de chaque point de mesure. Elles permettent l'identification des sources de la pollution de l'air ambiant et la description du transport dans l'atmosphère. Finalement, la connaissance de la variabilité spatiale dans une dimension locale joue un rôle clé dans la recherche épidémiologique, qui étudie les conséquences des contaminants atmosphériques pour la santé humaine (Hoek, Meliefste et al. 2002).

### 3. Résultats

La qualité de l'air ambiant s'est considérablement améliorée à Berlin pendant la période 1991 - 2003 grâce aux mesures d'assainissement prises par les autorités politiques. Néanmoins les niveaux actuels de la concentration du dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) et des particules en suspension sont toujours assez problématiques surtout dans les rues en ce qui concerne le respect des valeurs limites prévues par la directive 1999/30/CE (Fig.1). Le  $\text{NO}_2$  et les  $\text{PM}_{10}$  montrent un haut niveau de la variabilité spatiale. Les points de prélèvement, où la pollution est due à la circulation, sont les plus pollués, les endroits dans des quartiers résidentiels (arrière-plan urbain) le sont déjà moins. Les banlieues sont les moins polluées.

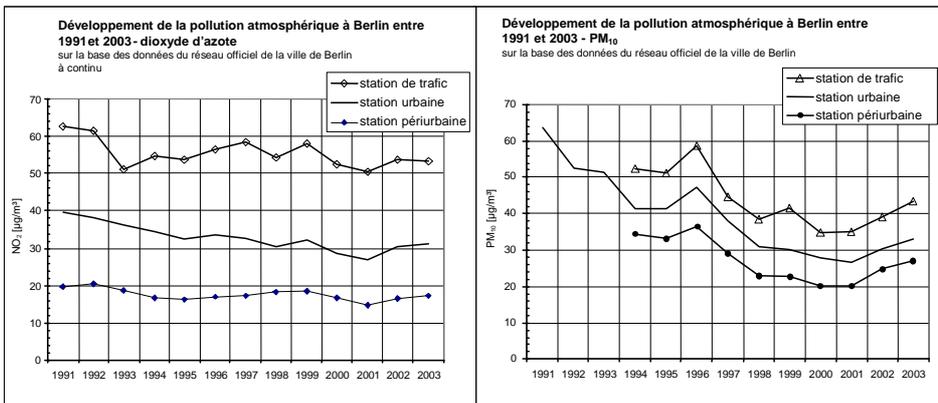


fig.1: Développement de la pollution atmosphérique à Berlin entre 1991 et 2003. Source: Draheim 2005

La distribution spatiale de la pollution est assez constante pendant des situations météorologiques différentes (Fig. 2). Des types de temps autochtones favorisent l'accumulation des polluants dans les couches basses de l'atmosphère. Des types de temps maritimes augmentent le mélange et réduisent la concentration, ce qui est encore augmenté par l'effet de „wash-out“ de la précipitation. La concentration de  $\text{PM}_{10}$  est sensiblement plus élevée pendant les types de temps d'est et du sud, ce qui est dû à un transport de grande distance.

Une séparation des valeurs mesurées de  $\text{PM}_{10}$  en taille plus et moins grosses que  $2.5 \mu\text{m}$  amène à un jugement encore plus différencié (Fig. 3): Les différences les plus petites apparaissent pour les particules les plus fines ( $\text{PM}_{2.5}$ ), car elles viennent de plus loin. Par contre, les plus grosses particules résultent plutôt de la pollution locale.

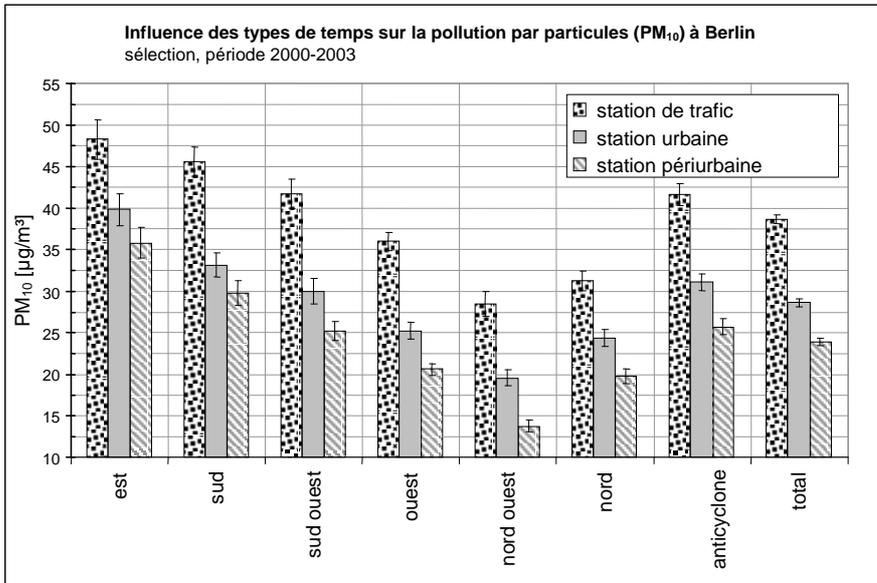


Fig. 2: Influence des types de temps sur la pollution par particules (PM<sub>10</sub>) à Berlin.  
Source: Draheim 2005

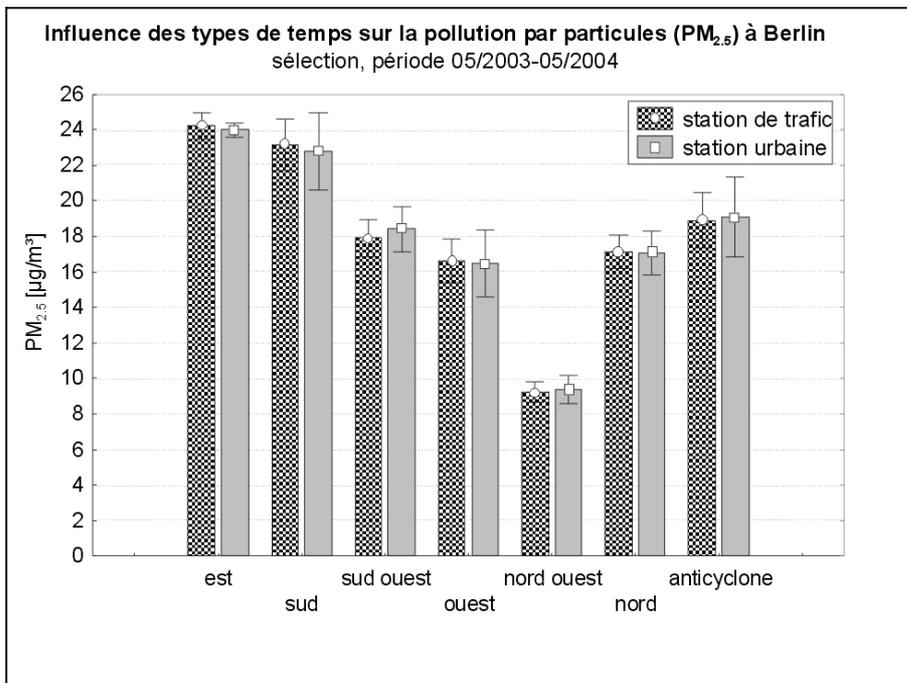


Fig. 3: Distribution spatiale de PM<sub>2,5</sub> et l'influence des types de temps sur la pollution par particules (PM<sub>2,5</sub>) à Berlin. Source: Wolf 2005.

#### 4. Perspectives

Des dispositions législatives, règlementaires et administratives beaucoup plus strictes, qui visent la protection de la santé humaine, de la végétation et des écosystèmes tout entiers, seront nécessaires

dans le futur pour se conformer à la présente directive de l'Union Européenne déjà en 2005, mais surtout en 2010. Non seulement des dispositions locales doivent être prises dans les grandes agglomérations des états-membres de l'Union Européenne, mais aussi dans les pays voisins de l'Europe de l'Est pour diminuer la pollution autochtone comme allochtone.

### **Bibliographie**

Conseil Européen (1999) : Directive 1999/30/CE du conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation des valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant. Journal officiel des Communautés européennes L 163/41-163/60 du 29. 6. 1999 FR.

DRAHEIM, T. (2005): Die räumliche und zeitliche Variabilität der  $PM_{10}$ -Schwebstaubkonzentration in Berlin unter Berücksichtigung der Großwettertypen. Diss. Math.-Nat. Fak.II, Humboldt-Universität zu Berlin.

DRAHEIM, T., U. WOLF & W. ENDLICHER (2005): Spatial and temporal variability of fine ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ) and coarse particulate matter in Berlin. Die Erde (Berlin) 136 (sous presse).

Hoek, G., K. Meliefste et al. (2002) : Spatial variability of fine particle concentrations in three European areas. Atmospheric Environment 31: 3609-3622.

WHO (2000): Air Quality Guidelines. 2nd Edition. Copenhagen, World Health Organization Regional Publications, European Series.

WHO (2003) : Health Aspects of Air pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. World Health Organisation. Bonn.

WHO (2004): Health Aspects of Air Pollution - Results from the WHO Project "Systematic Review of Health Aspects of Air Pollution in Europe". World Health Organisation.

Wolf, U. (2005): Räumliche und zeitliche Variabilität von Grob- und Feinstaub ( $PM_{2.5}$ ) sowie von Stickstoffdioxid in Berlin. Diss. Math.-Nat. Fak. II, Humboldt-Universität zu Berlin (en préparation)

# L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN A ORLEANS (REGION CENTRE, FRANCE) ET SON EVENTUELLE RELATION AVEC LA PERSISTANCE NOCTURNE DE L'OZONE PENDANT LA PERIODE ESTIVALE 2004

M. BERTHELOT<sup>1</sup> ET A. GENIN<sup>2</sup>

UMR Citeres 6173, équipe V.S.T, groupe de recherche Dynamiques Environnementales et Paysagères (DEP), M.S.H.  
"Villes et Territoires" BP 60449, 33 allée Ferdinand de Lesseps, 37204 TOURS Cedex 03

<sup>1</sup>Tél. : 06 87 10 28 01 ; Fax : 02 47 64 83 13 ; E-Mail : [berthelot.michael@free.fr](mailto:berthelot.michael@free.fr)

<sup>2</sup>Tél. : 02 47 62 37 63 ; Fax : 02 47 36 62 37 72 ; E-Mail : [alain.genin@univ-tours.fr](mailto:alain.genin@univ-tours.fr)

## Résumé

L'îlot de chaleur urbain de l'agglomération d'Orléans est particulièrement marqué en début de nuit avec des écarts thermiques ville-campagne importants. De plus, un de nos objectifs est de comprendre si ce comportement de l'îlot de chaleur peut expliquer la persistance nocturne de l'ozone observée.

**Mots clés :** îlot de chaleur urbain, ozone, urbain, rural, persistance nocturne.

## Abstract

The urban heat island of heat of the agglomeration of Orleans is particularly marked at the beginning of the night with thermal variations city-countryside important. Our objective is to include/understand if this behavior of the small island of heat can explain the night persistence of ozone observed.

**Key-words :** urban heat island, ozone, urban, rural, night persistence.

## Introduction

Deux objectifs structurent notre recherche à Orléans, ville de taille moyenne dans la région Centre en France : la mise en évidence d'un îlot de chaleur et l'éventuel lien entre celui-ci et la persistance nocturne de l'ozone. Grâce à une méthode d'interpolation spatiale, l'îlot de chaleur urbain est bien décelable, notamment en début de nuit avec des écarts thermiques ville-campagne importants. L'ozone est un polluant urbain – l'un des plus préoccupants actuellement suivis par la surveillance de la qualité de l'air - que l'on observe dans de fortes concentrations au voisinage des grandes villes en été dans des conditions météorologiques particulières (situations anticycloniques et très faible dispersion). Située sous l'influence de l'agglomération parisienne, l'agglomération d'Orléans, lors des derniers épisodes de pollution photochimique, en juillet 2001 et en août 2003, a connu une persistance nocturne de l'ozone en milieu urbain manifeste alors que les concentrations en milieu rural étaient en retrait. L'îlot de chaleur urbain est-il un des facteurs pouvant expliquer ce phénomène ? De par ses particularités, la photochimie est principalement active à partir du mois d'avril et les pics d'ozone peuvent encore apparaître en septembre [Soedomo, 1988]. L'étude a été menée sur la période estivale 2004 où des capteurs de températures ont été installés sur le réseau de mesure de la qualité de l'air.

## 1. L'îlot de chaleur urbain (ICU) dans l'agglomération orléanaise

### Une étude menée sur la période estivale 2004

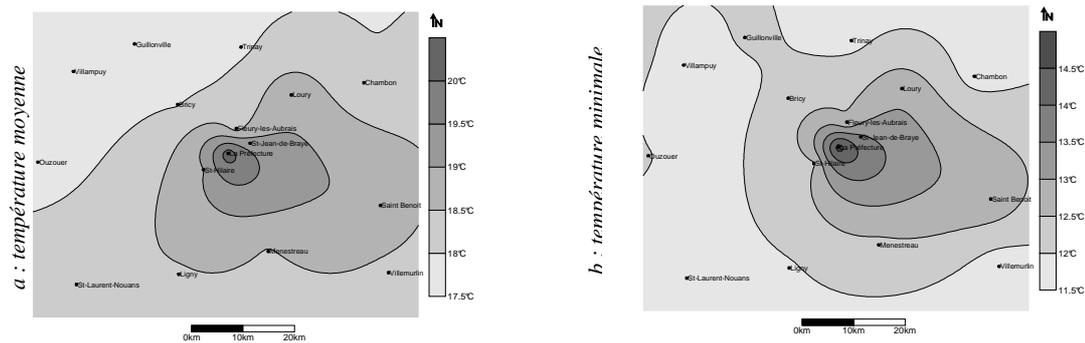
Dans l'agglomération d'Orléans, il n'existe que deux postes de mesure de la température (Météo France). Afin d'acquérir d'autres données, nous avons installé des sondes de températures sur les stations de mesure de la qualité de l'air (Lig'Air) qui enregistrent également les concentrations d'ozone. Deux des postes nouvellement équipés sont utilisés pour le travail présenté ici : le poste

urbain de la Préfecture et le poste périurbain de Saint Jean de Braye. L'éventuel lien entre l'îlot de chaleur urbain et la persistance nocturne de l'ozone a bien entendu nécessité l'acquisition de données durant la période estivale : de juin à septembre 2004. Afin de spatialiser l'îlot de chaleur, nous avons également employé les données de 20 stations du réseau de Météo France, situées dans un périmètre de 40 km autour de l'agglomération. Le nombre de postes est suffisant pour effectuer une interpolation spatiale (krigeage) à l'échelle de l'agglomération.

### La spatialisation de l'îlot de chaleur urbain

Les températures moyennes de la période estivale (juin à septembre) isolent la station urbaine de la Préfecture du reste avec une moyenne supérieure à 20°C (**Figure 1a**). L'écart de température atteint 2°C sur une distance de 25 km en direction du pôle urbain. Les trois stations périurbaines (St Hilaire, Fleury les Aubrais et St Jean de Braye) se distinguent aussi assez nettement et contribuent à l'apparition de cercles concentriques autour du centre-ville (**Figure 1a**). De précédentes études menées sur des villes de grande taille ont démontré que des écarts importants entre la ville et la campagne pouvaient se manifester sur les températures minimales ( $T_n$ ) d'été [Alcoforado *et al.*, 2000]. Les températures minimales s'observent généralement en fin de nuit et à l'aube et c'est à ce moment que l'ICU s'intensifie essentiellement en raison de l'occupation du sol [Charabi, 2001]. Dans notre cas, les  $T_n$  révèlent des écarts importants : 3°C entre le centre-ville (poste de la Préfecture) et la campagne proche où les valeurs n'excèdent pas 12°C (**Figure 1b**). L'influence urbaine s'étend de façon notable jusqu'aux stations situées en proche périphérie (**Figure 1b**). Ces écarts sont essentiellement liés à l'espace bâti dont les matières utilisées sont propices à l'absorption de la chaleur induite par le rayonnement solaire direct. Durant la nuit, les surfaces artificialisées restituent la chaleur et limitent la baisse des  $T_n$ . Par opposition, le flux réfléchi est plus important en campagne où le refroidissement nocturne est donc plus marqué [Endlicher, 1981].

Figure 1 : Spatialisation de l'ICU dans l'agglomération d'Orléans issue de l'interpolation des Températures moyennes et des  $T_n$  moyennes mensuelles de la période estivale 2004.



En revanche, pour les températures maximales moyennes ( $T_x$ ), nous ne retrouvons pas de tels écarts : spatialement, la ville d'Orléans ne se dissocie pas de la campagne environnante. Ce phénomène s'explique en partie par le caractère des stations de mesure. Le poste de mesure de la Préfecture est situé dans un parc où la végétation est importante. Il en est de même pour la station périurbaine de Saint Jean de Braye. Ces lieux où la végétation est importante suffisent à réfléchir l'énergie solaire et à favoriser des  $T_x$  sans excès par rapport à la campagne. [Conrads, 1975 ; Jauregui, 1997].

### 1.3. L'évolution nocturne de l'écart thermique ville-campagne

Les résultats de la classification automatique réalisée sur l'ensemble des postes automatiques associés aux observations des comportements des stations permettent de confirmer que 3 postes témoins, la Préfecture (urbain), Saint Jean de Braye (périurbain) et Louville (rural), sont les plus représentatifs pour notre étude.

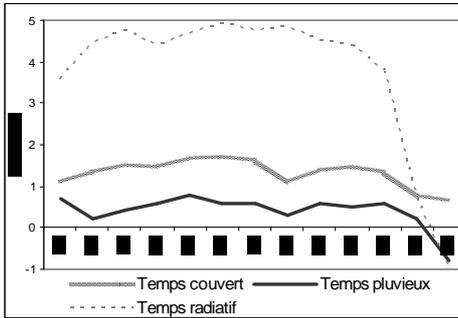


Figure 2 : Ecarts thermiques nocturnes (19h-7h) la Préfecture / Louville selon les types de temps durant la période estivale 2004

Les écarts thermiques les plus importants s'observent pendant les journées anticycloniques et ensoleillées, ce qui confirme les résultats d'Olivier Cantat dans son étude de l'îlot de chaleur urbain de Paris (2004). La variabilité des écarts thermiques est tributaire des conditions météorologiques, plus particulièrement de l'insolation au cours de la journée et de la vitesse du

vent. A Orléans, les écarts thermiques diurnes sont faibles entre le centre-ville et la campagne, souvent inférieurs à 2°C. Les caractères de la station urbaine peuvent freiner l'élévation de la température [Escourrou, 1991]. Par opposition, lorsque la journée est très ensoleillée, l'absorption de chaleur sensible par les espaces bâtis est importante. La chaleur absorbée est redistribuée dans l'atmosphère dès que le soleil se couche. Les écarts moyens en début de nuit deviennent très importants lorsque la couche nocturne apparaît. Quand le flux de chaleur sensible est suffisant, les écarts thermiques peuvent s'intensifier jusqu'en fin de nuit où l'écart peut atteindre 5°C (Figure 2). Pour les principaux types de temps, l'ICU disparaît presque totalement au lever du jour (après 6h) en même temps que l'altitude de la couche limite atmosphérique augmente (couche convective) [Labatut, 1997 ; Menut, 1997].

## 2. L'îlot de chaleur et la persistance de l'ozone

### 2.1. Des taux d'ozone différents en fin de journée entre milieu urbain et rural

Dans l'agglomération orléanaise, les profils verticaux de l'ozone montrent en général un cycle journalier très distinct qui correspond au cycle diurne de la couche de mélange. En milieu urbain, la couche de mélange connaît une dynamique bien étudiée. Elle évolue avec une périodicité diurne, dont les grandes phases sont invariantes dans leur principe, mais dont l'amplitude va dépendre des processus dynamiques et thermiques liés au site étudié [Labatut, 1997]. La hauteur de mélange influe sur la concentration des précurseurs de l'ozone. En journée, l'augmentation de la température, le développement de la photochimie et le mélange avec les couches d'air plus polluées situées au sein de la couche d'inversion entraînent l'augmentation de la concentration d'ozone, souvent maximale en début d'après midi (202 µg/m<sup>3</sup> à Oysonville (rural) à 15h le 01/08/04). La nuit, la forte inversion thermique qui se développe depuis le sol sur plusieurs dizaines de mètres piège les émissions. En l'absence de photochimie, l'accumulation de NO dans cette couche d'inversion peu épaisse provoque la réduction de nombreuses molécules d'ozone, particulièrement sur la station de la Préfecture (Figure 3).

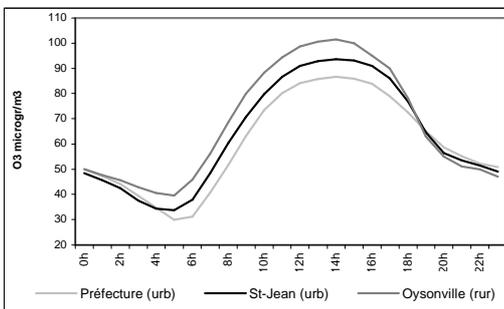


Figure 3 : Evolution moyenne horaire de l'ozone sur 3 sites différents (1998-2004).

Le profil horaire de l'ozone diffère entre le milieu urbain et rural en fin de journée et début de nuit. Après 19h, les concentrations moyennes baissent plus rapidement en milieu rural (Oysonville) que dans la zone urbaine où l'ozone persiste plus durablement (la Préfecture et Saint-Jean-de-Braye). Cette différence peut-être plus marquante lors des journées d'importante concentration d'ozone.

## 2.2. Un processus induit par l'îlot de chaleur urbain ?

La persistance nocturne de l'ozone en milieu urbain a été observée sur des cas ponctuels, particulièrement durant les importants épisodes de pollution photochimiques des étés 2001 et 2003 [www.ligair.fr]. Mais qu'en est-il sur une période estivale moyenne comme celle de 2004 (les valeurs maximales horaires enregistrées sur l'agglomération orléanaise ont atteint 176  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en milieu urbain et 202  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en milieu rural, le 31/07/2004)? Nos investigations ont commencé par une épuration de la base de données afin de travailler uniquement sur les journées de mauvaise qualité de l'air. La prise en considération des conditions météorologiques et des conditions chimiques (rapport COV/NOx grand) a permis de retenir 25 journées de mauvaise qualité de l'air. Sur ces journées, la courbe des écarts thermiques s'ajuste à celle des concentrations d'ozone et pourrait expliquer la persistance nocturne de l'ozone. Malgré l'absence de photochimie, le flux de chaleur sensible permettrait d'entretenir l'ozone jusqu'en début de nuit où les concentrations urbaines sont plus importantes qu'en milieu rural aussi bien sur l'agglomération d'Orléans que celle de Tours où un travail de recherche identique s'effectue également, par souci de comparaison.

## **Bibliographie**

- ALCOFORADO M.-J., ANDRADE H., 2000 : « Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal) : min features and modelling attempts », *Climatic Principles in urban planning, Portugal*, 4 p.
- ALLIE G., 1997 : *La pollution atmosphérique par l'ozone*, Thèse de doctorat, U.F.R des Sciences Pharmaceutiques, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 110 p.
- CANTAT O., 2004 : L'îlot de chaleur urbain parisien selon les « types de temps », *Norois*, n° 191, p.75-104.
- CHARABI Y., 2001 : *L'îlot de chaleur urbain de la métropole lilloise : mesures et spatialisation*, Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 236 p.
- CONRADS L.-A., 1975 : *Observations of meteorological urban effects, the heat island of Utrecht*, 83 p.
- Endlicher W., 1981 : « L'îlot de chaleur urbain d'Annecy. Quelques remarques sur le climat local d'une ville alpine », *Revue de géographie alpine*, Tome L XIX, n° 3, p. 407-420.
- ESCOURROU G., 1991 : *Le climat et la ville*, Géographie d'aujourd'hui, Nathan Université, 190 p.
- Jauregui E., 1997 : « Heat island development in Mexico city », *Atmospheric Environment*, volume 31, p.3821-3831.
- LABATUT A., 1997 : *Contribution à l'étude des flux d'ozone dans la couche de surface*, Centre commun de recherche, Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse, 214 p.
- MENUT L., 1997 : *Etude expérimentale et théorique de la couche limite atmosphérique en agglomération parisienne*, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris IV, 235 p.
- SOEDOMO M., 1988 : *Ozone troposphérique à l'échelle régionale : production et transfert dans le bassin parisien*, Thèse de doctorat, U.E.R de Sciences, Université de Paris XII Val-de-Marne, 315 p.

## **ASPECTS DU CLIMAT URBAIN DE NICE : ILOT DE CHALEUR, ILOT DE FRAICHEUR, EFFETS DE PAROI.**

**P. CARREGA, F. ROSA**

*Université de Nice-Sophia Antipolis  
Equipe GVE-UMR Espace 98 bd Herriot F06204 Nice cedex 3 carrega@unice.fr*

### **Résumé**

les données d'une station automatique spécialement installée pendant 6 mois en pleine ville de Nice sont comparées à celles de l'aéroport, plus rural. Un îlot de chaleur nocturne est plus marqué en hiver, mais la ville est plus froide en matinée.

**Mots-clés** : Ilot de chaleur urbain. Température. Humidité

### **Abstract**

data from an automatic station which was set for 6 months in the center of the city of Nice, are compared with those of the official airport station (rural). There is an Urban Heat Island, stronger in winter, during the night, but the city is cooler during the morning.

**Key-words** : Urban heat island. Temperature. Humidity.

### **Introduction**

Le besoin de quantifier les différences entre le climat officiel quasi-rural classiquement représenté par l'aéroport à Nice et le climat urbain de cette dernière explique la commande par la ville de Nice d'une étude, dont quelques aspects sont examinés dans ces lignes. Les causes de cette étude sont à la fois scientifiques (mieux comprendre les conditions climatiques qui régissent le devenir des éventuels polluants atmosphériques), et « stratégiques » (voir si l'image donnée par la station de l'aéroport et répercutée par les médias est en réalité proche de ce que vivent les Niçois).

### **1. Contexte et Méthodes**

Située au sud des grands courants perturbés et du Mistral, la région de Nice est soumise à un régime de brises thermiques et à une forte variabilité spatiale du climat grâce au ciel clair et à l'absence de vent fort fréquents. L'absence de poste météorologique urbain a nécessité l'installation d'une station (Davis Monitor II) de janvier à juin 2001, en pleine ville, (rue Vernier) au nord immédiat de la gare SNCF, et au sud de la gare de Provence. Le site consiste en un petit jardinet, à 3m environ de la face Nord d'un collège, donnant sur une rue assez large dont il est séparé par une grille ajourée (fig. 1). Ce poste « urbain » n'est insolé directement qu'à partir du printemps, l'après-midi. Aucun site vraiment rural comparable et proche n'étant disponible, Vernier est comparé au poste « officiel » de Nice-aéroport situé en bord de mer, à 8 km à l'ouest de Vernier, hors de l'agglomération, en site plus « rural », mais néanmoins probablement influencé la nuit (brise de terre) par une semi-urbanisation croissante au nord. Auparavant, la calibration de la Davis a été vérifiée par son installation à côté du poste officiel de l'aéroport durant 10 jours, par types de temps variés. Aucune correction n'a paru nécessaire car les écarts moyens entre les deux postes sont nuls (moyenne des écarts : 0,01°C), ne dépassant momentanément 1°C (en faveur de la Davis) que le matin par insolation directe de l'abri, ce qui est une situation inexistante en ville, du fait de l'exposition au nord. Ce premier semestre 2001 se caractérise par une pluviométrie très inégale d'un mois à l'autre, les mois d'avril (19mm) et surtout juin (0mm) ayant été particulièrement peu pluvieux.

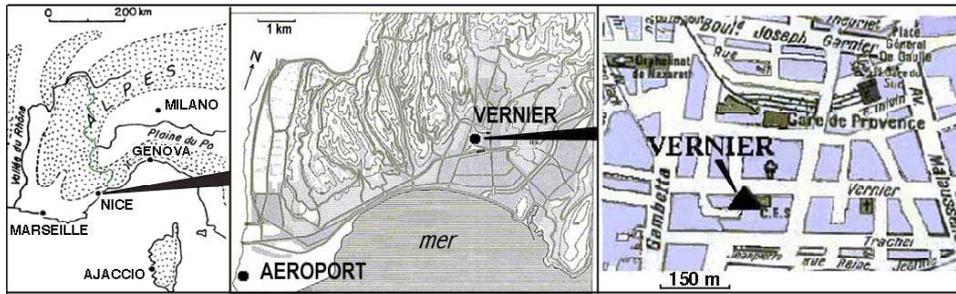


Fig.1 Situation de Nice et sites des stations rurale (aéroport) et urbaine (rue Vernier)

## 2. Ecart saisonniers de température et d'humidité

Le site de la rue Vernier est plus chaud que celui de l'aéroport (+ 0,82°C sur 6 mois), particulièrement en hiver, et il connaît une plus faible variabilité quotidienne des températures (□ des valeurs horaires), due à la plus grande difficulté d'advection de l'air allogène (rugosité urbaine), et à l'inertie thermique des bâtiments (fig. 2). Ce constat, valide en saison froide, s'inverse en mai et juin.

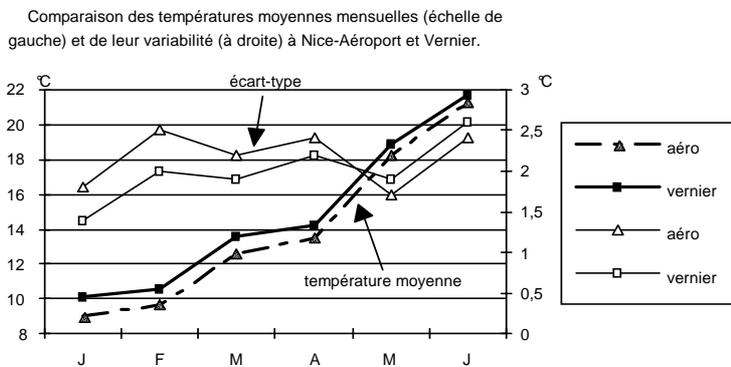


Fig. 2 Les températures à l'aéroport et rue Vernier durant le 1er semestre 2001

La température du point de rosée, fonctionnellement liée à la tension de vapeur d'eau de l'air, indique donc l'humidité absolue, et elle est un traceur de l'origine et du parcours des masses d'air. En janvier, mois pluvieux, et à forte prédominance de brise de terre drainant un air sec sur l'aéroport pendant la nuit, et souvent encore en journée, Vernier est plus humide que l'aéroport. Ceci s'explique par la position de la ville à l'écart du flux sec de brise de terre - brise de montagne descendant la vallée du Var vers le sud, et affectant l'aéroport (fig. 3). Par contre, à partir de février, un déficit urbain de vapeur d'eau apparaît, qui s'accroît au fil des mois.

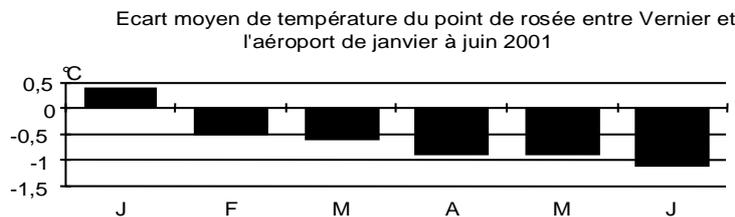


Fig. 3 Différences mensuelles de température du point de rosée entre la rue Vernier et l'aéroport au cours du 1er semestre 2001

### 3. A l'échelle horaire : îlot de chaleur, mais aussi îlot de fraîcheur.

#### 3.1. La station Vernier indicatrice de la masse urbaine.

Les moyennes mensuelles cachent en fait de grandes différences intra-quotidiennes de comportement : un îlot de chaleur nocturne indéniable et systématique apparaît en début de nuit et se maintient au minimum toute la nuit, en particulier en hiver. L'écart est maximum en cours de nuit, atteignant 1,6°C en janvier (à 03h TU), et il se prolonge en matinée l'hiver (fig. 4).

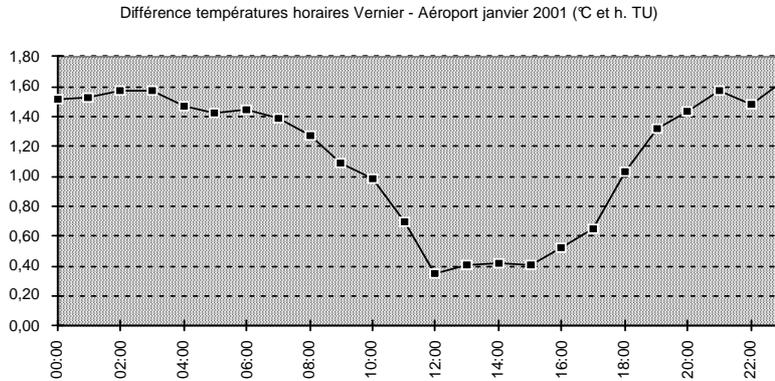


Fig. 4 Ecart thermique horaire entre rue Vernier et aéroport en janvier 2001

Par contre, l'écart minimum est atteint en fin de matinée (à 12h TU en moyenne) en hiver, et il devient même négatif au printemps (fig. 5) avec un maximum négatif en été de -0,5°C de différence horaire moyenne en juin : la ville est alors plus froide que ses environs, pendant 6 h. Cette "fraîcheur" relative durable, plus modérée que la "chaleur" nocturne, est liée à un retard de réchauffement (ombre) dû à l'écran exercé par les bâtiments urbains au rayonnement solaire direct.

#### 3.2. La station Vernier indicatrice des effets radiatifs locaux.

Un deuxième pic d'écart thermique apparaît l'après-midi au printemps et surtout en juin, mais pour des raisons différentes expliquant aussi la variabilité thermique urbaine plus forte au printemps (fig. 2 et 5) : dès le mois de mars, le soleil est en mesure d'irradier en cours d'après-midi la façade nord du collège, ce qui se traduit par une forte hausse des températures. Cette hausse est composite : elle est due d'une part à la réflexion du rayonnement visible et à l'émission d'infrarouge par la paroi du collège, et d'autre part, à l'irradiation directe du site de la station par le soleil. Détectable dès le mois de mars, elle augmente avec + 1,8°C en avril, + 2,3°C en mai, + 2,6°C en juin. Ce pic d'insolation locale est nettement séparé dans le temps, de celui de l'îlot de chaleur nocturne, et ne peut être confondu avec lui.

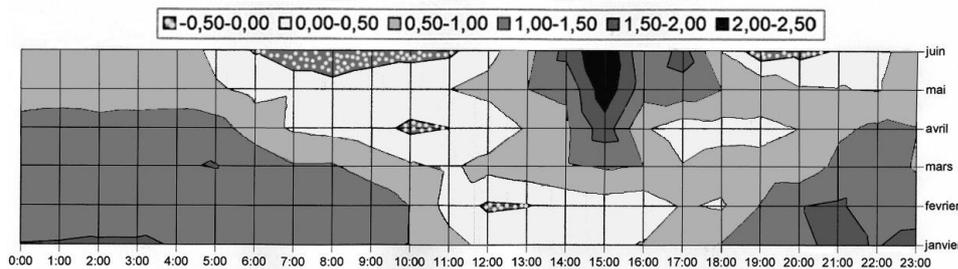


Fig. 5 Combinaison horaire et saisonnière des écarts thermiques entre la rue Vernier et l'aéroport

C'est surtout l'après-midi d'avril à juin que la ville est nettement plus sèche en valeur absolue (plus de 2° d'écart de point de rosée, en moyenne) que l'aéroport, ce qui montre la difficulté qu'a le flux humide de brise de mer à pénétrer, du moins en surface, au niveau de la rue, à l'intérieur de la ville plus rugueuse.

En cours d'après-midi, le déficit de vapeur d'eau joint à l'excédent de température locale, rue Vernier, explique l'important déficit urbain d'humidité relative, en moyenne de 15 % à 15 h en juin. Il est accompagné d'un accroissement notable de la turbulence l'après-midi à partir de mars : contrairement à l'aéroport où elle reste stable, à Vernier, bien que plus basse, la vitesse du vent double entre 9h et 15h.

### Conclusion

Il faut donc différencier les caractères climatologiques enregistrés en ville. Ceux du site, se traduisant par un froid relatif en fin de matinée, ou par une hausse forte (mais momentanée) des températures l'après-midi hors de la saison froide, à cause des bâtiments immédiatement environnants, et ceux de la ville en général (îlot de chaleur urbain) se traduisant durablement par une plus forte température nocturne, surtout en hiver, et par une humidité nettement moindre la plupart du temps.

### Bibliographie :

CARREGA P., 1988 : "*Climatology and air pollution in Nice (France)*". Proceedings of the symposium of the topoclimatological investigation and mapping study group, Christchurch (New-Zealand), August 10-13, 1988, pp. 193-204.

CARREGA P., 1994 : "*Topoclimatologie et habitat*". Revue d'Analyse Spatiale, Nice, n° 35 et 36. 408 p. (thèse d'état).

CARREGA P., 1998 : "*Les spécificités de l'îlot de chaleur urbain à Nice*". Colloque de climatologie urbaine, Rome, mars 1997. Nimbus n°13-14, Societa meteorologica subalpina, Torino. pp. 33-41.

OKE T. R., 1982 : "The energetic basis of the urban heat island". Quat. J.r. meteorol.Soc. G.B., 1982, vol. 108, n° 455, London, pp. 1-24.

**Remerciements** : ce travail provient d'une étude financée par la Mairie de Nice en 2001.

# **LE CLIMAT URBAIN ET LA POLLUTION DE L'AIR DANS LES VILLES INDUSTRIELLES.**

## **ETUDE DE CAS – LA VILLE DE TARGOVISTE (ROUMANIE)**

**G. PEHOIU, T. SIMION, O.M. MURĂRESCU**

*Str. Lt. Stancu Ion nr. 34-36A, Târgoviște, le département de Dâmbovița, Românie*

### **Résumé**

Le développement et l'évolution de la vie dans le cadre d'un centre urbain ne peuvent pas avoir lieu si les facteurs de l'environnement, dans notre cas l'air que nous respirons, sont fortement affectés. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier la possibilité que l'homme intervienne pour réaliser un équilibre qualitatif entre le niveau de dégradation des facteurs de l'environnement (suite aux activités économiques polluantes) et la sauvegarde des conditions favorables à la vie.

**Mots-clés :** climat urbain, qualité de l'air, Târgoviște, polluants atmosphériques.

### **Abstract**

Life development and evolution in an urban center cannot take place when the factors of the environment, in our case the air we are breathing, are seriously affected. From this point of view, it is necessary to study the ways in which man can and must intervene in order to achieve a qualitative balance between the degradation level of the environment factors (caused by polluting economic activities) and the possibility of ensuring environment conditions favoring life development and evolution.

**Key words:** urban climate, air quality, Târgoviște, air pollutants.

### **1. Le climat urbain et la pollution de l'air dans les villes industrielles – considérations générales**

De nos jours, les mérites de l'industrie dans le développement général d'une région sont incontestables. Voilà pourquoi, lors de l'évaluation du rôle de l'industrie et de l'urbanisation, il nous semble que, au-delà de l'aspect numérique, c'est le côté territorial qui relève des modifications tout à fait spéciales de l'environnement. Le développement de l'industrie en Roumanie a déterminé l'apparition de centres industriels importants dans le territoire, qui, selon leur structure et leur degré de spécialisation, accomplissent un rôle prépondérant dans la vie économique, s'imposant dans le paysage de certaines zones géographiques. Les grandes agglomérations urbaines sont en fait aussi bien les centres des grandes concentrations industrielles, ce qui doit nous faire considérer évidemment les aspects multiples de l'écologie urbaine. L'emplacement des objectifs industriels dans la proximité des zones habitées et leur extension incontrôlée pose des problèmes du point de vue des effets nocifs concernant la santé de la population.

Mondialement, on constate un changement rapide de la diversité des maladies qui accentuent le risque de mortalité pour la population, comme résultat direct de l'association des éléments du cadre naturel et de ceux de l'environnement artificiel créé par l'homme. Pour la Roumanie, il faut remarquer, de ce point de vue, les concentrations industrielles vieilles, situées dans des vallées et des dépressions, qui ont une influence négative sur la qualité de l'environnement. En guise d'exemple, on pourrait mentionner les concentrations industrielles situées dans les vallées de Teleajen, Olt, Prahova (dont le centre de polarisation est la ville de Ploiești), de Ialomița et Argeș (dont les centres de polarisation sont Târgoviște et Pitești), de Trotuș et Bistrița. Une situation spéciale est constituée par les villes dans le voisinage ou à l'intérieur desquelles il y a des entreprises industrielles produisant des matériaux de construction, qui, suite à leur activité, éliminent dans l'atmosphère des poussières en suspension et sédimentables, dont l'influence nocive se fait sentir jusqu'à 2-3 km, parfois même plus. C'est le cas des villes de Turda, Bârsești, Comarnic, Fieni, etc. Des problèmes réellement importants du point de vue de la pollution de

l'environnement urbain sont à remarquer aussi dans les zones où se trouvent des entreprises industrielles métallurgiques et chimiques, dont les émanations de dioxyde de soufre se font sentir jusqu'à 8-10km. Dans cette catégorie, nous pouvons mentionner les entreprises industrielles de Copșa Mică, Năvodari, Zlatna ou Târgoviște, la dernière de ces localités constituant l'objet d'étude de cet article.

## 2. Le climat urbain et la pollution de l'air dans la ville de Târgoviște

### 2.1. Târgoviște – considérations d'ordre géologique et historique

La municipalité de Târgoviște, la plus grande et plus ancienne ville du département de Dâmbovița, est située sur une terrasse, à une altitude de 280m, entre les Subcarpates externes de Ialomița et la Plaine de Târgoviște, dans la partie centrale du département de Dâmbovița qui occupe une surface de 1361 km<sup>2</sup>.

Târgoviște, emplacement dont les vestiges datent depuis le néolithique, est attestée dans des documents depuis 1396, le toponyme ayant le sens de « bourg – marché ». Capitale de la Valachie entre 1418 et 1714, avec quelques interruptions mineures, connue comme « la ville des 33 souverains », municipalité concentrant les fonctions administratives du département de Dâmbovița depuis 1968, cette ville représente un important centre politique et administratif, industriel et commercial, historique, culturel, touristique et scientifique.

### 2.2. La qualité de l'air dans la ville de Târgoviște

L'habitat urbain de Târgoviște, analysé du point de vue de son potentiel d'habitation, enregistre aujourd'hui un nombre important de transformations générées par le développement industriel. La qualité de l'environnement s'apprécie par les effets de l'activité économique, de la pression humaine en général, surtout sur l'état de santé de la population.

La pollution de l'atmosphère de la ville de Târgoviște est donnée avant tout par les émissions industrielles et les matériaux en poudre à petites dimensions. Dans le cadre des entreprises industrielles métallurgiques qui se trouvent sur la plate-forme industrielle du sud-ouest de Târgoviște, on observe une pollution intense de l'environnement, un degré élevé d'agressivité surtout en ce qui regarde les zones voisines (les quartiers III, II, I, IX, XII), déterminé par des poussières industrielles sédimentables et en suspension, et par des gaz industriels. Les sources d'émission ayant un impact potentiel sont assez nombreuses et diverses : SC COS SA (métallurgie), SC Oțelinox SA (laminage d'aciers), SC Vicas SA (teintures et laques), SC Romlux SA (production d'objets à illuminer), SC Cromsteel SA (chromage), SC UPET SA (construction de machines), le trafic routier etc.

#### 2.2.1. Les poussières en suspension

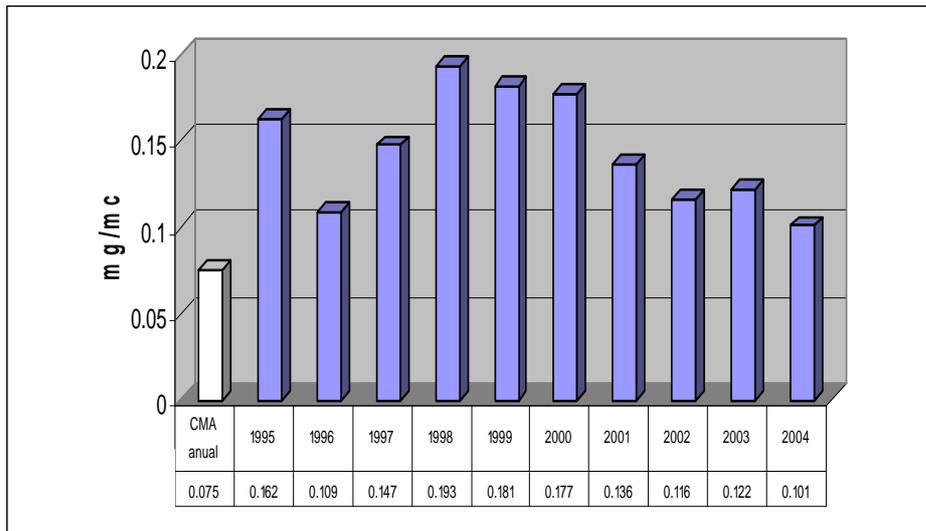
Le niveau des poussières en suspension a été mesuré par plusieurs stations de prélèvement de l'Agence pour la Protection de l'Environnement du Département de Dâmbovița. Ces polluants résultent du processus de production, surtout de la métallurgie ferreuse de SC COS SA, qui émet des poussières contenant des oxydes de fer et des métaux ferreux, ainsi que du trafic routier. Ainsi, les concentrations moyennes en poussières totales en suspension sur 24 heures ont dépassé la CMA (la concentration maximale admise, qui est de 0,15mg/m<sup>3</sup>) (Tableau 1).

Tableau 1. Poussières en suspension dans la ville de Târgoviște en 2004

| Point de prélèvement          | No. dépassements/no. mesurages | Fréquence du dépassement du CMA /24h (%) | Moyenne annuelle de la conc. moyenne/24 h (mg/m <sup>3</sup> ) | Maxima de la conc. moyenne/24h (mg/m <sup>3</sup> ) | Minima de la conc. moyenne /24h (mg/mc) |
|-------------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|
| Centre-ville                  | 14/350                         | 4,0                                      | 0,097  | 0,241   | 0,018                                   |
| Quartier XII-point 1          | 30/187                         | 16,04                                    | 0,119  | 0,234   | 0,015                                   |
| Quartier XII-point 2          | 4/119                          | 3,36                                     | 0,085  | 0,164   | 0,019                                   |
| <b>Globalement Târgoviște</b> | <b>48/656</b>                  | <b>7,32</b>                              | <b>0,101</b>   | <b>0,241</b>  | <b>0,015</b>                            |

De l'évolution de la pollution totale avec poussières en suspension pendant la période analysée, on constate que le niveau de cet indicateur continue à rester élevé. Pourtant il a diminué ( $0,101 \text{ mg/m}^3$ ) par rapport à la période 1995-2001, durant laquelle les valeurs de cet indicateur ont dépassé  $0,190 \text{ mg/m}^3$  (Fig. 1).

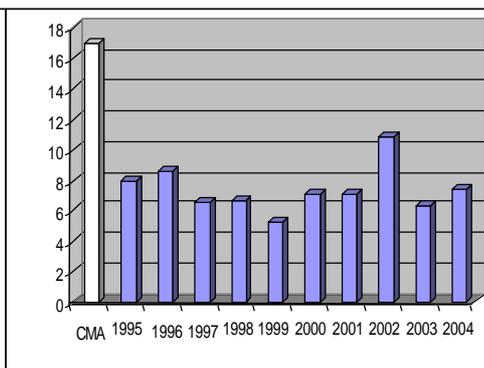
Fig. 1. L'évolution de la pollution avec poussières en suspension dans la ville de Târgoviște (1995-2004)



En ce qui concerne la pollution avec poussières sédimentables, celles-ci ont été présentes dans l'atmosphère de la ville, malgré le fait que les valeurs de cet indicateur se sont situées en dessous de la CMA ( $17 \text{ g/m}^2/\text{mois}$ ), la concentration moyenne en 2004 ayant une valeur de  $7,04 \text{ g/m}^2/\text{mois}$  (Fig. 2).

Pour les polluants gazeux,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , on n'a pas enregistré de dépassements des CMA spécifiques de ces gaz nocifs. On a pourtant relevé quelques valeurs dépassant le seuil d'alerte pour l'indicateur aldéhyde formique, la valeur maximale enregistrée étant de  $0,0096 \text{ mg/m}^3$  au mois de mars 2004, la source polluante étant le trafic routier.

Fig. 2. Evolution de la pollution avec poussière sédimentable à Târgoviște (1995-2004)



### 2.3. Le management des actions d'amélioration de la qualité de l'air

Les priorités de l'administration locale, ayant pour fondement l'„Agenda 21”, se réfèrent à l'amélioration des conditions de vie et des facteurs de l'environnement, étant données les pressions spécifiques liées à l'industrie, à l'agglomération humaine, à la densité des voies de transport et de communication, aux services et au commerce. Les actions concernant la pollution de l'air visent l'amélioration de la qualité de celui-ci conformément aux standards de qualité. En ce sens, nous pouvons mentionner : la réduction de l'impact du trafic routier sur la qualité de l'air de la ville, le

contrôle des émissions provenant des sources industrielles et l'installation d'équipements de dépollution à toutes les sources à impact majeur, la réduction des émissions provenant des systèmes individuels de chauffage.

## Conclusions

Des observations concernant la dégradation de l'air dans la ville de Târgoviște, il résulte que celle-ci se produit à cause des poussières en suspension, comme polluant principal, ses sources majeures étant la métallurgie et le trafic routier. L'analyse de l'indicateur poussières en suspension montre une baisse générale de la quantité de polluants émise dans l'atmosphère, les causes principales étant la diminution de l'activité dans certaines entreprises par la fermeture de certains départements ou suite à des restructurations, et, de l'autre côté, les investissements dans des installations à outillages non-polluants. Le monitoring continu, de ce point de vue, de chaque entreprise industrielle, des relations de celles-ci avec les espaces d'habitation de la ville, et la surveillance des facteurs qui peuvent générer des agressivités de la part des sources de pollution doivent conduire à une réduction continue de l'influence des substances nocives sur le climat urbain et à l'amélioration de la vie de la population.

## Bibliographie

- \* \* \* (2004) - *Raport privind starea mediului în județul Dâmbovița*, Agenția pentru Protecția Mediului Dâmbovița.
- BROWN L.R., FISCHLOWITZ-ROBERTS B. (2002) - *Politica ecologică a planetei*, Editura Tehnică, București.
- CUCU V. (2002) - *România. Geografie umană și economică*, Editura Transversal, Târgoviște
- GÂȘTESCU P. (2000) - *Managementul mediului*, Editura Sfinx 2000, Târgoviște.
- MANOLIU M., IONESCU C. (1998) - *Dezvoltarea durabilă și protecția mediului*, Editura H\*G\*A\*, București.
- PEHOIU G. (2003) - *Câmpia înaltă a Târgoviștei. Studiu de geografie umană și economică*, Editura Cetatea de Scaun, Târgoviște.
- ROJANSCHI V., BRAN F., DIACONU G. (1997) - *Protecția și ingineria mediului*, Editura Economică, București.

## MODELISATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES EN SITUATION ANTICYCLONIQUE ESTIVALE : EXEMPLE DE LA VILLE DE SFAX (SUD-EST DE LA TUNISIE)

A. KHLAIFI <sup>1</sup>, S. DAHECH <sup>2</sup>, G. BELTRANDO <sup>2</sup>, A. IONESCU <sup>1</sup> et Y. CANDAU <sup>1</sup>

<sup>1</sup> CERTES, Université Paris 12 - Val-de-Marne IUT Créteil – Vitry 61, avenue du Général de Gaulle 94010 Créteil  
Cedex

<sup>2</sup> Université Denis Diderot (Paris VII), UMR 8586 (PRODIG) du CNRS, (c.c. 7001) 2, place Jussieu 75251 Paris Cedex  
05

[Khlaiifi, ionescu, candau@univ-paris12.fr](mailto:Khlaiifi, ionescu, candau@univ-paris12.fr), [Salem.dahech, beltrando@paris7.jussieu.fr](mailto:Salem.dahech, beltrando@paris7.jussieu.fr)

### Résumé

Dans cet article, un modèle gaussien développé est employé pour estimer les niveaux de concentration du SO<sub>2</sub> émis de la source la plus importante à Sfax (sud-est de la Tunisie), la SIAPE (47.2% d'émission totale du SO<sub>2</sub>). Les variations spatiales horaires sont analysées pour les types de temps dominant en été.

**Mots-clés:** modélisation numérique, modèle gaussien, pollution atmosphérique, situations anticycloniques estivales

### Abstract

In this paper, a developed Gaussian model is used to estimate a level concentration of SO<sub>2</sub> emitted from the important source SIAPE (47.2% of total emission of SO<sub>2</sub>) in Sfax (North East, Tunisia). The hourly spatial variations are analyzed for prevailing kinds of weather in summer.

**Key-words:** numerical modelling, Gaussian model, air pollution, summer anticyclonic situations

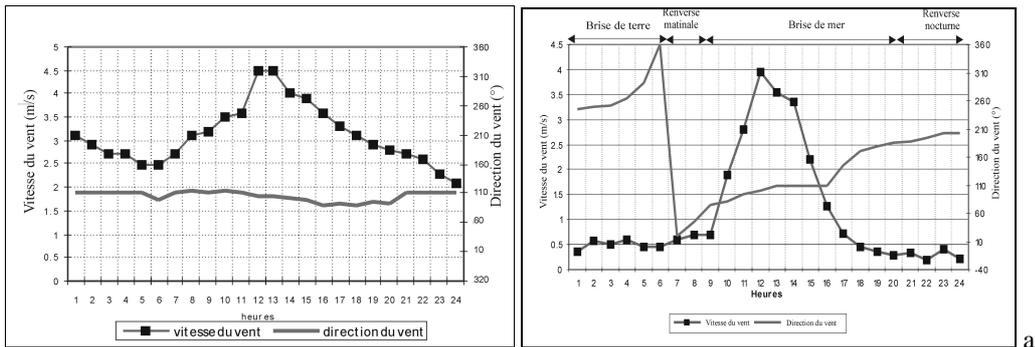
### Introduction

Dans la perspective d'un développement durable, la modélisation numérique de la qualité de l'air est un instrument indispensable pour une meilleure compréhension de la dispersion des polluants atmosphériques. La modélisation sert aussi à faire des études préliminaires afin de rentabiliser au mieux les campagnes de mesures souvent coûteuses et enfin à aider les pouvoirs politiques à prendre les décisions les plus adaptées. Si la qualité de l'air dépend de l'émission de substances polluantes, elle dépend aussi des conditions météorologiques. En fait, dans une ville côtière et très industrialisée et peuplée comme Sfax, les situations anticycloniques estivales s'avèrent très propices aux fortes concentrations des polluants. Le présent travail s'intéresse en particulier à spatialiser le SO<sub>2</sub> émis de l'usine la plus polluante de la ville par modèle Gaussien en été 2004.

### 1. Méthodes et données

Durant l'été 2004, une station météorologique automatique fixe de type « Davis » a été installée à proximité de l'usine « SIAPE » (la Société Industrielle d'Acide Phosphorique et d'Engrais). Cette station enregistre la température, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent et la pression atmosphérique à un pas de temps de 6mn. Les données relevées, après étude statistique multivariée, montrent l'existence de deux types de temps : le plus fréquent (80%) est celui caractérisé par l'alternance de la brise de terre et la brise de mer (figure 1a). Le deuxième est aussi un temps anticyclonique ensoleillé très chaud mais dominé par un vent synoptique d'Est dont la vitesse moyenne est aux alentours de 3.5 m/s (figure 1b). Les données qui servent comme entrées du modèle numérique développé sont de deux types : les données relatives à la source la plus émettrice en SO<sub>2</sub> (47.2%) telles que l'émission, la température et la vitesse du gaz, hauteur et diamètre des

cheminées... (AZRI, 2000); et les données météorologiques (vitesse et direction du vent, nébulosité).



vent d'Est b. Situation de brise

Figure 1 : identification des types de temps durant l'été 2004

## 2. Modèle Gaussien

Pour modéliser la dispersion des polluants, nous avons utilisé la formule (1) de Gauss pour une source d'émission continue (Venkatram et al. 2004).

$$(1) \quad C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left[-\frac{(z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right]$$

Cette formule a été établie sans tenir compte du sol qui joue le rôle d'une barrière. Pour bien estimer la pollution près du sol, il faut supposer l'existence d'une autre source image située de l'autre côté du sol et émettant le même débit, ce qui donne la formulation (2) :

$$C(x, y, z=0) = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left[-\frac{(H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right] \quad (2)$$

Nous avons estimé les forces de poussée d'Archimède (3) en se basant sur les caractéristiques d'émission (vitesse et température). Ces forces sont utilisées pour le calcul de la surélévation de panache H (Briggs, 1975) (4).

$$F = g \frac{d^2}{4} V_s \frac{T_e - T_a}{T_e} \quad (3)$$

$$H = 1.6 F^{1/3} x_f^{2/3} u^{-1} \quad (4)$$

Pour estimer les écarts types des distributions latérales et verticales des concentrations qui dépendent de la distance à la source et de la stabilité thermique de l'atmosphère, nous avons utilisé les classes de stabilité définies par Pasquill (Pasquill, 1974).

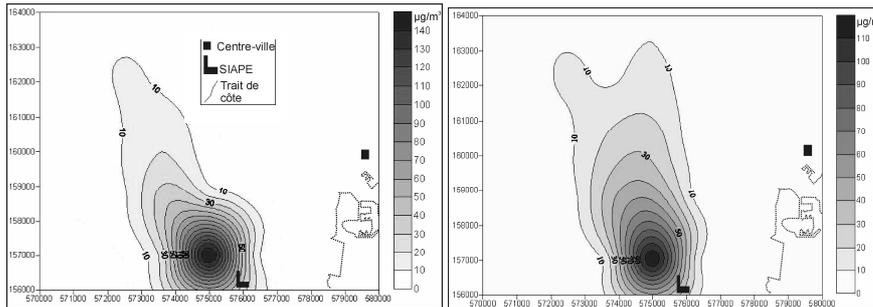
Le modèle ainsi développé permet de définir suivant un pas de temps variable (6 minutes et 1 heure) la concentration de SO<sub>2</sub>.

### 3. Résultats

Le modèle Gaussien nous a permis d'élaborer des cartes d'isoconcentration pour chaque polluant et chaque type de temps à plusieurs moments de la journée.

#### 3.1 Vent synoptique d'Est

Les concentrations dans l'air des polluants primaires sont maximales à proximité des sources d'émission, puis tendent à diminuer au fur et à mesure que l'on s'éloigne de celles-ci du fait de leur dilution dans l'air. Les distances parcourues par les polluants introduits dans l'atmosphère dépendent de plusieurs paramètres et en particulier de l'intensité de l'émission, de son altitude d'injection (hauteur des cheminées), et de la vitesse d'émission. Les taux de polluants enregistrés sont relativement faibles. La vitesse du vent supérieure à 3m/s assure leur dispersion (figure 2). Une légère hausse de la concentration du SO<sub>2</sub> est observée au voisinage de la source à 8h car la vitesse du vent est plus faible (3m/s contre 4.5m/s à 12h). En situation de calme, la région de Sfax est soumise aux brises marines (75% des jours de l'été entre 1970 et 2002) (Dahech, thèse en cours).

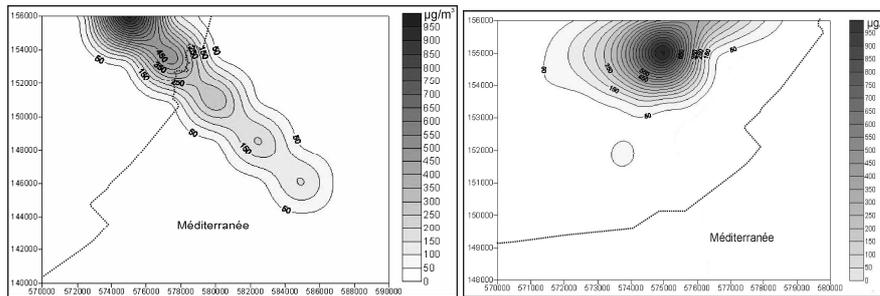


(a) 8 heure

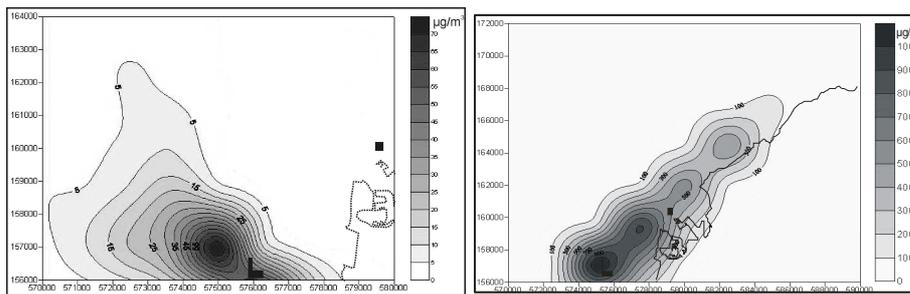
(b) 12 heure

Figure 2 : Répartition spatiale horaire du SO<sub>2</sub> durant le 18/08/2004 (vent de secteur est)

#### 3.2 La brise



(a) 4h : brise de terre (b) 6h : renverse matinale

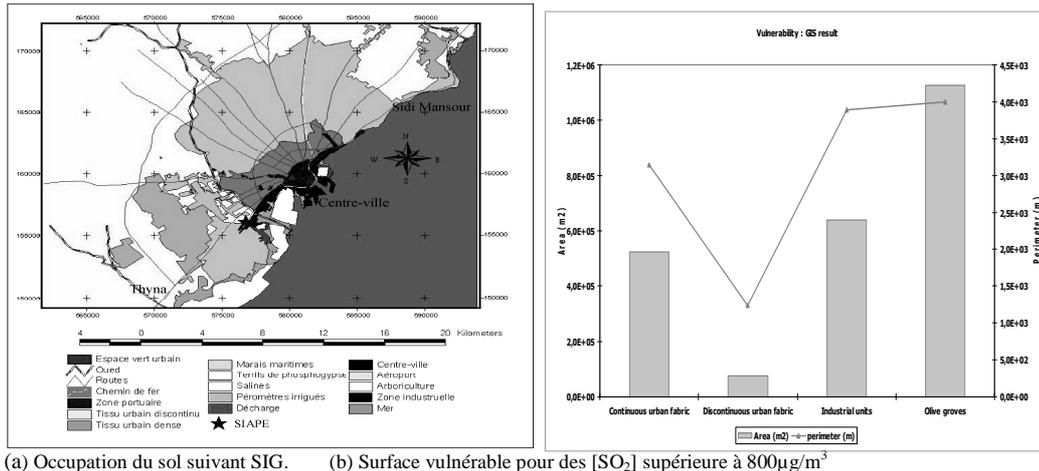


(c) 15h : brise de mer (d) 22h : renverse nocturne

Figure 3 : Répartition spatiale et horaire du SO<sub>2</sub> durant le 12/08/2004 (situation de brise)

Durant la journée, sous l'effet du rayonnement solaire, la terre se réchauffe plus vite que la mer. Une brise de mer soufflant de la mer vers la terre est ainsi créée. Elle peut rabattre vers la zone urbaine tous les polluants accumulés en mer pendant la nuit (fig. 3c et 3d). Durant le jour, la dispersion du SO<sub>2</sub> est plus facile. D'abord, la brise de mer souffle à une vitesse trois à quatre fois plus rapide que celle durant la nuit. De plus, la hauteur de la couche limite est largement réduite en période nocturne (Oke, 1987). De ce fait, sur les figures 3a (brise de terre), b (renverse matinale) et d (renverse nocturne), le taux de SO<sub>2</sub> est environ 12 fois plus élevé qu'en situation de brise de mer (fig. 3c).

Durant la période de la renverse nocturne, les polluants issus de la SIAPE se dirigent vers les zones les plus peuplées de l'agglomération. Pour identifier les secteurs vulnérables, la figure 3d (courbes d'isoconcentration du SO<sub>2</sub> à 22h durant la renverse nocturne de la brise) et plus précisément les espaces où la concentration est supérieure à 800 µg/m<sup>3</sup> sont croisés par le biais des SIG à la carte de l'occupation du sol (figure 4). La partie sud-est du quartier El Habib est la plus contaminée.



(a) Occupation du sol suivant SIG. (b) Surface vulnérable pour des [SO<sub>2</sub>] supérieure à 800µg/m<sup>3</sup>

Figure 4 : Etude de la vulnérabilité en situation de renverse nocturne

## Conclusion

Les résultats obtenus (spatialisation horaire des taux du SO<sub>2</sub>) prouvent que le modèle utilisé peut être utile pour prévoir des pics de pollution et pour définir les secteurs les plus vulnérables dans la ville. Les résultats du modèle ont été validés (80%) par les taux de SO<sub>2</sub> enregistrés à la station de l'Agence Nationale de la Protection de l'Environnement. Les zones les plus vulnérables sont situées dans un rayon de 2 kilomètres autour de l'usine (cités Elhabib et Elbahri situés au nord ouest, Elagarba dans l'ouest et Elbadrani dans le sud). Les taux les plus élevés du SO<sub>2</sub> sont enregistrés dans ces quartiers juste avant le début de la brise de mer (6-9h) et après la fin de cette dernière (19 à 23h).

## Bibliographie

- AZRI, C., 2000 : Contribution des sources mobiles et fixes à la pollution atmosphérique dans la région de Sfax (Tunisie). Thèse, université de Tunis II, faculté des sciences de Tunis, pp 239.
- BRIGGS, G.A., 1975. Plume Rise Predictions. In: Haugen, D.A. (Ed.), Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses. American Meteorological Society, Boston, MA, pp. 59-111.
- OKE, T.R., 1987: Boundary Layer Climate. Deuxième édition, Methuen, London and New York, pp 435.
- PASQUILL, F. 1974. Atmospheric diffusion. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York NY.
- VENKATRAM, A., ISAKOV, V., PANKRATZ, D., HEUMANN, J., YUAN, J., 2004. The analysis of data from an urban dispersion experiment. Atmospheric Environment 38, 3647-3659.

## **ANALYSE DE LA REPARTITION SPATIALE DES CONCENTRATIONS D'OZONE EN BOURGOGNE : RESULTATS PRELIMINAIRES**

**M.-L. HOUZÉ<sup>(1)</sup>, T. CASTEL<sup>(1,2)</sup>, Y. RICHARD<sup>(1)</sup>**

*Centre de Recherches de Climatologie, FRE 2740 CNRS–Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21 000 Dijon,*

*[mlhouze@u-bourgogne.fr](mailto:mlhouze@u-bourgogne.fr)<sup>(2)</sup>*

*ENESAD, Département Agronomie Environnement, 21 079 Dijon.*

### **Résumé**

Une campagne de mesures de l'ozone troposphérique par tubes à diffusion passif a été effectuée en août 2000 en Bourgogne. Nous avons considéré ces concentrations d'ozone comme la somme de deux signaux. Un signal de fond dont on s'affranchit pour se consacrer au signal d'origine locale – i.e. résiduel. La corrélation spatiale de cette valeur résiduelle a ensuite été caractérisée par le calcul et la modélisation des semi-variogrammes expérimentaux. L'analyse et l'interprétation préliminaire de cette structuration ont été conduites via un SIG par croisement de différentes couches d'information (propriétés de la surface et états de l'atmosphère). Les résultats montrent, pour les 09 et 26 août, la prépondérance des effets dispersifs sur la répartition des concentrations spatiales de l'ozone. Ces effets sont fortement modulés suivant les configurations (états de l'atmosphère et niveaux de concentrations) par les propriétés de surface (rugosité).

**Mots-clés :** Bourgogne, Ozone troposphérique, Géostatistique, anisotropie.

### **Abstract**

A series of measurements by passive tube with diffusion were carried out in August 2000 on all the Burgundy. We assumed that ozone concentrations is the additive combination of two main sources. A signal due to external forcing and a signal from local origin. Spatial correlations were characterised by the experimental and the modelled semi-variogram. Spatial correlations are strong anisotropy. The analysis and a preliminary interpretation of this structure were led using a GIS. Results first show the dispersive effects to the wind speed. Moreover, for certain dates the spatial structure is mainly driver by the combination of surface roughness characteristics (local wind direction), the level of ozone concentration added the wind speed. Finally we discuss the context of such results for ozone mapping purpose.

**Key-words :** Burgundy, Tropospheric Ozone, Geostatistic, anisotropy.

### **Introduction**

En 2000, une expérimentation a été conduite afin de mieux appréhender la variabilité spatio-temporelle des concentrations en ozone à l'échelle de la Bourgogne. Outre la lourdeur des campagnes de mesures, cette échelle soulève des problèmes complexes mettant en jeu différentes sources d'émission, différentes conditions de formation/destruction et différents mécanismes de dispersion. L'analyse de la répartition spatiale des concentrations en ozone passe par notre capacité à 1) appréhender le degré de structuration spatiale des niveaux de concentrations (i.e. autocorrélation spatiale) et 2) à en identifier les principaux déterminants.

### **1. Données expérimentales**

En plus de la topographie (Modèle Numérique de Terrain au pas de 50m) de l'Institut Géographique National (Fig. 1), le jeu de données est principalement constitué :

- des mesures des concentrations en ozone troposphérique réalisées à partir de tubes à diffusion (Garcia Fouques, 1998) du 9 (Fig. 1) au 11 août et du 24 au 26 août 2000. Au total 105 points de mesures sur une maille d'environ 25-30 km. Les mesures sont effectuées sur une période de 8 heures, de 8 hTU à 16 hTU, période d'insolation maximale et de 16 hTU à 8 hTU pour des mesures dites «nocturnes».

- des prévisions météorologiques pour ces périodes fournies par le modèle climatique à méso-échelle Aladin de Météo-France (variables sur 11 niveaux de hauteur (de 2 à 1500m) au-dessus du sol). Ces données sont simulées avec une maille horizontale d'une résolution de 10 x 10 km.

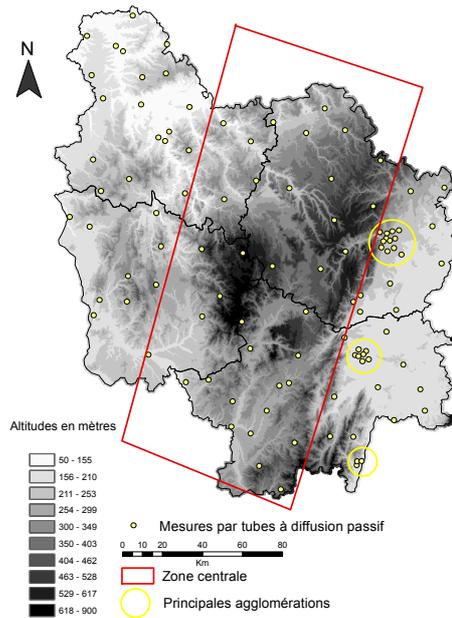


Figure 1 : Localisation des tubes à diffusion passifs sur la région Bourgogne en fonction des trois principales zones physiographiques.

Pour tenir compte de la variabilité sous maille, nous avons introduit une variable synthétique – l'angle d'incidence local au vent – qui combine la direction dominante du vent au sein de la maille Aladin avec les caractéristiques de pente et d'azimut calculées à l'échelle du pixel (50x50m) du MNT (Castel, 1998).

Toutes ces données étant géoréférencées, elles ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique.

## 2. Démarche méthodologique

Le degré de structuration spatiale des niveaux de concentrations en ozone a été mesuré par des méthodes de géostatistique. Nous avons comparé deux types d'espaces : la région Bourgogne et trois sous-régions. Nous avons divisé l'échantillon en fonction des propriétés de la surface que sont l'altitude et la pente. Cette stratification permet de retrouver, dans leurs grandes lignes, les trois principaux ensembles physiographiques de la Bourgogne : la plaine de Saône, à l'Est, est caractérisée par de faibles altitudes, elle regroupe les principales agglomérations de Bourgogne au pied de la Côte viticole ; la zone centrale (Fig. 1) comprend entre autres le massif du Morvan et la côte viticole. C'est la zone la plus rurale et la plus accidentée avec les altitudes et des dénivelés les plus importants ; la zone Ouest est une zone aux caractéristiques intermédiaires entre les deux précédentes, pentes, altitudes et rugosités et urbanisation sont relativement moyennes.

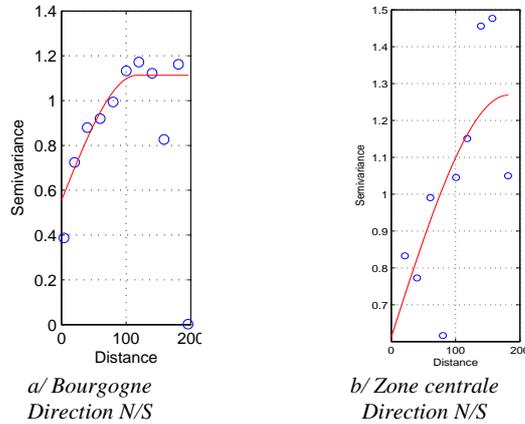
L'analyse s'est appuyée sur la combinaison des données atmosphériques avec les propriétés de la surface. Notre démarche repose sur trois étapes 1) la décomposition du signal (Joly et al., 2003), 2) le calcul et la modélisation de la structuration spatiale par l'intermédiaire du calcul de semi-variogrammes directionnels (Deutsch et Journel, 1998) et 3) l'analyse et l'interprétation préliminaire des déterminants de la structuration. Cette dernière étape vise à déterminer les facteurs explicitant la

structuration spatiale. La co-variation spatiale entre la concentration en ozone et une variable externe susceptible d'expliquer les patterns observés a été calculée selon la formule du semi-variogramme croisé explicitée dans Webster and Oliver (2004).

## Résultats et discussion

A l'échelle régionale, les 09 (Fig. 2a) et 26 août montrent de plus fortes structururations.

Figure 2 a et b : Semi-variogramme directionnel expérimental et théorique du 09 août 2000 (08-16hTU) a/ pour la Bourgogne b/ pour la zone centrale



Les unités de distances sont systématiquement en kilomètre.

O semi-variogramme expérimentale — semi-variance modélisée avec un modèle sphérique

Le 09 août (fig. 2b), la zone centrale possède une meilleure structuration que l'échelle régionale. A contrario, le 26 août les conditions sont plus favorables à une structuration à l'échelle de la région. Les résultats de semi-variogrammes croisés montrent pour la configuration du 09 août que la structuration est fortement induite par la rugosité de la surface. Dans le cas de la journée du 26, la co-variation des concentrations est plus forte avec la vitesse du vent. Les journées des 09 et 26 août présentent deux configurations distinctes. Elles se caractérisent par des niveaux de concentration en ozone et des vitesses de vent différentes. Pour la journée du 09 août, on observe de faibles concentrations d'ozone avec un gradient net en fonction de la vitesse du vent, aux faibles concentrations sont associées de faibles vitesses de vent. Le 26 août, les concentrations en ozone sont plus fortes et sont associées à des vitesses de vent plus importantes, cette absence de gradient entre concentrations en ozone et vitesses de vent peut être liée à un effet de dilution. Les valeurs d'angle d'incidence locale au vent sont distribuées de façon plus homogène pour la journée du 09 août, la variabilité des valeurs d'angle inférieur à 90 (abrités du vent) est plus importante. A contrario, le 26, les points de mesure sont plus exposés au vent et les vitesses de vent sont plus importantes.

L'analyse préliminaire montre, comme attendu, que le vent est une des clés de la structuration. Lorsque le vent est faible, la structuration régionale des concentrations en ozone est déterminée par la structuration de la strate centrale dont le déterminant est la rugosité de surface. En cas de vent plus soutenu, les concentrations en ozone sont moins bien structurées à l'échelle de la strate qu'à l'échelle régionale dont l'élément structurant est la vitesse de vent (i.e. dispersion).

## Conclusion

L'analyse des concentrations en ozone par tube à diffusion passif en août 2000 en Bourgogne montre une structuration spatiale fonction des niveaux de concentration et dépendante des propriétés atmosphériques (vent) et des conditions de surface (rugosité). Cette structuration est, pour certaines dates, d'autant plus nette lorsque l'on regarde à l'intérieur des trois grandes unités physiographiques qui constituent la Bourgogne. La partie centrale de la Bourgogne présente les altitudes et le modelé les plus importants. Lorsque le vent est faible, c'est la zone la mieux structurée. Le rôle de la rugosité de surface devient alors prépondérant. En cas de vent plus soutenu, la structuration spatiale est plus nette à l'échelle régionale qu'à l'échelle de la sous-région et elle est liée à un effet classique de dilution. Nous avons donc établi que la structuration des concentrations en ozone est bien expliquée par certaines variables liées aux phénomènes de dispersion. Il conviendra d'approfondir l'analyse pour d'autres configurations (i.e. dates) de manière à évaluer le poids sur les émissions de précurseur et/ou sur les réactions photochimiques.

## Bibliographie

- CASTEL T. (1998), Estimation de paramètres de la ressource forestière par télédétection radar à synthèse d'ouverture, *Th. Doct.*, 250p.
- DEUTSCH C. et JOURNAL A. (1998), *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*, second edition Applied Geostatistics Series Oxford university press, 369p.
- GARCIA FOUQUE S. (1998), Etude de la mesure de l'ozone par tube à diffusion, application terrain, *Th. Doct.* Compiègne, 331p.
- JOLY D., FURY R., NILSEN L. ELVEBAKK A. BROSSARD T. (2003), Temperature interpolation at a large scale : test on a small area in Svalbard, *Int. J. Climatol.*, **23** : 1637-1654.
- WEBSTER R. and OLIVER M.A. (2004), *Geostatistics for Environmental Scientists*, Ed. Wiley, 271p.

## **POLLUTION ATMOSPHERIQUE EXPOSITION PERSONNELLE ET CLIMAT.**

**I. ROUSSEL** <sup>(1)</sup>

*Laboratoire de géographie des milieux anthropisés USTL, 10 rue Servient, 69 003 LYON  
Tel. 00.334 78 71 19 93,  
e-mail: isaroussel69@aol.com*

**Résumé:** La mesure de l'exposition personnelle n'est pas indépendante du temps qu'il fait puisque le poids des saisons est important et que la pollution de l'air intérieur est, pour une large part, liée à la contribution de l'air en provenance de l'extérieur. En outre, la mesure de l'exposition permet aux individus, par l'intermédiaire du temps qu'il fait, de prendre conscience de leur responsabilité individuelle par rapport à la pollution à toutes les échelles.

**Mots – clés:** pollution atmosphérique, exposition personnelle, perception de l'environnement,

**Abstract:** The measurement of personal exposure is not get rid of climatic influences because seasons are very important and outdoor air largely explains indoor pollutants concentration. In the other hand, personal exposure assessment allows the volunteers to recognize their individual responsibility beyond air pollution at different scales.

**Key – words:** atmospheric pollution, personal exposure, environment perception,

### **Introduction**

Les études portant sur la mesure de l'exposition personnelle se sont multipliées ces dernières années (Derbez et al., 2001). Elles procèdent d'un souci d'une meilleure connaissance des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique. Ces investigations ont permis de mettre l'accent sur l'influence de la pollution à l'intérieur des maisons puisque les individus passent au moins 80% de leur temps à l'intérieur des locaux (Gonzales-Flesca et al., 1999). Néanmoins, l'influence du climat n'est pas absente, le temps passé à l'extérieur, le chauffage, l'occurrence de certains polluants, présentent une variation saisonnière nette. En outre, la qualité de l'air intérieur dépend, pour une large part, de la pénétration de l'air extérieur à l'intérieur des locaux. Les volontaires qui se soumettent à ces mesures ne sont pas de simples récepteurs d'une pollution à laquelle ils seraient exposés. Les mesures effectuées permettent aux volontaires de construire une image de la pollution à laquelle ils contribuent. Ainsi ces études font prendre conscience que la pollution de l'air relève d'une dynamique dans laquelle chacun a sa part de responsabilité et sans être soumis à un aléa dans un processus de victimisation. La santé environnementale et la lutte contre l'effet de serre additionnel relèvent tout autant de cette dynamique environnementale que de la crainte du risque.

### **Données et Méthode.**

Les résultats présentés s'appuient sur une étude intitulée : « les sentinelles de l'air », réalisé chez 130 volontaires répartis sur quatre sites : Dunkerque, Lille, Grenoble et Marseille. Ces mesures personnelles portaient sur les NOx et les BTEX et le CO à Lille et à Dunkerque. Elles ont été effectuées grâce à des tubes passifs utilisés selon un protocole rigoureux. Les sentinelles, volontaires bénévoles, devaient porter les badges pendant 48 h., période au cours de laquelle, elles notaient le déroulement de leurs activités dans un BETA (budget, espace, temps, activités). Un questionnaire détaillé sur le cadre de vie avait été préalablement rempli. Cette étude s'est déroulée pendant deux saisons, selon le calendrier suivant :

Tableau n°1 : Dates au cours desquelles ont eu lieu les deux campagnes menées par les « sentinelles »

|                               | Dunkerque       | Grenoble       | Lille              | Marseille  |
|-------------------------------|-----------------|----------------|--------------------|--|
| Dates de la première campagne | 9/05-18/07/2001 | 2/05-8/07/2001 | 23 /04-11/07/ 2001 | 2 /04 –31/10 avec une interruption entre le 20/05 et le 11/09/2001 |
| Dates de la seconde campagne  | 4/12/ 2002      | 2001-26/03/    | 8/01-12/03 2002    | 10/12-10 /04/200   |
|                               |                 |                |                    | 28/01-26 /04/2002  |

## Résultats.

De manière générale, le niveau de l'exposition personnelle est plus élevé que celui de la pollution ambiante ou intérieure (généralement le niveau de la pollution ambiante présente la valeur la plus faible), (Le Moulec, 1999). Les valeurs de l'exposition personnelle s'expliquent, en partie, par le poids de la proximité de différentes sources de pollution au cours d'une journée passée par une sentinelle. Cependant, même si le temps passé à l'intérieur des locaux est élevé, l'exposition personnelle n'est pas affranchie du poids des conditions climatiques pour différentes raisons. Selon les saisons, l'occurrence des polluants n'est pas la même : le froid favorise la concentration de certains polluants (SO<sub>2</sub>, benzène, CO...) mais l'ensoleillement et les températures élevées de l'été correspondent à une élévation des niveaux d'ozone non seulement à l'extérieur mais aussi à l'intérieur des maisons.

La plupart des études d'exposition soulignent l'importance du transfert de la pollution « extérieure » vers l'intérieur des locaux. (Le Moulec, 1999). Selon les polluants et l'aération des bâtiments, les taux de transfert sont estimés selon les valeurs présentées dans le tableau n° 2.

Tableau n°2: Taux de transfert des polluants de l'air extérieur vers l'intérieur des locaux. Taux moyens couramment admis pour différents polluants (Le Moulec)

| Polluants                 | taux de transfert de l'extérieur vers l'intérieur |
|---------------------------|---|
| SO <sub>2</sub>           | 60%   |
| Ozone                     | 20%   |
| BTEX, CO, NO <sub>2</sub> | 100%  |
| P.M.2.5                   | 75%   |
| NO                        | 70%   |

Le poids de la pollution atmosphérique ambiante dans les valeurs de la pollution mesurée à l'intérieur des locaux explique l'importance des variations saisonnières mesurées au cours de l'étude des "sentinelles de l'air" pour les différents polluants.

Les résultats enregistrés soulignent l'importance des niveaux hivernaux mais aussi la diversité de conditions locales. A Lille et à Dunkerque, les sentinelles habitent, pour beaucoup, dans des maisons individuelles situées plutôt en périphérie alors qu'à Grenoble et à Marseille les sentinelles habitent au centre ville avec des niveaux de benzène plus élevés. Les niveaux de benzène « extérieur » paraissent souvent plus élevés que les autres mesures. Les conditions locales (trafic et raffineries) peuvent expliquer ces différences.

Les variations saisonnières de l'exposition ne s'expliquent pas uniquement par les déterminants climatiques des concentrations extérieures. Selon les saisons, les activités varient. Ainsi, en été, le temps passé dans les jardins et, d'une manière générale, à l'extérieur des locaux est plus long ce qui renforce le poids des pollutions « extérieures ». En dépit de la mauvaise réputation du climat du nord de la France, les sentinelles de Lille et de Dunkerque passent plus de temps dans leur jardin que les habitants méridionaux. On retrouve le poids culturel de la maison individuelle et de la tradition du jardinage. Cette caractéristique culturelle est aussi renforcée par le mode de recrutement des volontaires, délibérément plus nombreux dans le centre ville à Grenoble puisqu'un des objectifs

de l'étude consistait à tester l'influence d'une nouvelle ligne de tramway sur la pollution éventuellement épargnée aux grenoblois.

Les différentes études d'exposition personnelle ont montré l'influence du mode de chauffage sur les niveaux de pollution à l'intérieur des maisons (Le Moullec, 1999). Cette variable est elle-même liée à la saison et à la température. Néanmoins le seul chauffage hivernal n'est pas en cause puisque les modes de chauffage d'appoint sont souvent très nocifs en termes d'émissions polluantes. Ainsi à Lille, les tests effectués chez les personnes disposant d'un chauffage d'appoint au pétrole sont tout à fait inquiétants quand on observe les niveaux de CO mesurés (fig. n°1).

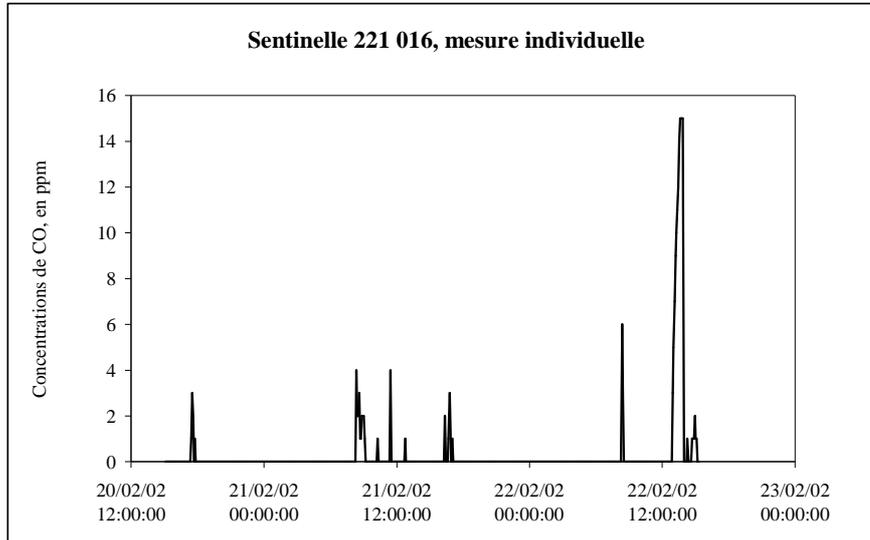


Figure n°1 : Les niveaux de CO mesurés chez une sentinelle entre les 20 et 22 février 2002. Les pics correspondent aux périodes d'utilisation d'un poêle à pétrole (source APPA).

### Conclusions et perspectives

Les études d'exposition personnelle ont certes, pour objectif d'améliorer la connaissance des expositions et de ses déterminants mais elles ont également une valeur pédagogique vis à vis des volontaires qui ne sont pas de simples instruments de mesure mais qui, au cours de l'étude, expérimentent la pollution de l'air à travers le temps qu'il fait.

Cette relation entre la météorologie et la pollution atmosphérique doit être mieux explicitée aux volontaires curieux de connaître le niveau de leur exposition individuelle pour montrer combien la pollution atmosphérique, même invisible relève, comme le climat d'une expérience sensible et qu'il ne s'agit pas simplement d'un système technique développé en dehors de la sphère sensible. L'expérimentation quasi physique de l'environnement a, comme le montre M. de la Soudière (1999) pour le climat, été trop occulté par le rationalisme cartésien spécifiquement français. La science occidentale avec une vision analytique propose des "fragments" d'un phénomène extrêmement complexe. Ce ne sont plus les communautés qui intègrent des connaissances et réagissent à des indices, mais une classe d'individus "experts" qui produisent des indices destinés à des individus atomisés et centrés sur des intérêts particuliers.

La relation sensible de l'individu avec l'atmosphère tant dans sa composante climatique que dans ses caractéristiques qualitatives, replace l'individu dans une dimension cosmique et planétaire. Le sentiment de la fragilité de l'équilibre de l'atmosphère est une expérience humaine largement partagée dans toutes les sociétés. Dans les sociétés dites traditionnelles, cette représentation repose

sur une accumulation de connaissances anciennes. Elle est l'apanage de l'ensemble des membres de la communauté de même que sont partagés les devoirs et les interdits visant à maintenir l'équilibre de l'air dans son rapport aux autres éléments (Katz et al., 2002). À la fois dans leur pratique et dans leurs systèmes de représentation, les sociétés traditionnelles sont plutôt collectivistes. La société est considérée comme un ensemble qui intègre l'intérêt individuel. Ainsi les membres de la communauté interagissent pour remédier ou éviter l'exposition à la pollution.

Dans cette perspective, l'individu peut se sentir responsable du changement climatique et, dans les détails de la vie quotidienne, adapter son comportement à un nécessaire ménagement de la planète. La santé environnementale ne dépend pas uniquement de la connaissance et de la prévention des risques dans une attitude d'évitement; elle procède aussi d'une démarche pro-active fondée sur une meilleure adéquation comportementale de l'individu par rapport à son environnement.

### **Bibliographie**

APPA, 2004 « *Représentations et attitudes à l'égard de la qualité de l'air chez les volontaires "sentinelles"* », Convention n° RD-2003-020 entre l'AFSSE et l'APPA, rapport final.

DERBEZ M, MOSQUERON L, NEDELLEC V., 2001. *Quelles sont les expositions humaines à la pollution ?* Collection Transports recherche Innovation, Primequal-Predit 1995-2000, La Documentation Française, 2001, 64 pages.

LE MOULLEC Y., 1999. Mesurer l'exposition sur le terrain : les perspectives européennes et françaises. *Pollut Atmosph*; Numéro spécial 40<sup>e</sup> anniversaire de l'APPA : 41-55.

GONZALEZ-FLESCA N, CIOLELLA A, BATES M, BASTIN E. 1999. Pilot study of personal, indoor and outdoor exposure to benzene, formaldehyde and acetaldehyde. *Environ Sci Pollut Res* ; 6(2): 95-102.

KATZ, E., LAMMEL, A. & GOLOUBINOFF, M. (Eds.) 2002. *Entre ciel et terre. Climat et Société*. Paris : IRD, Ibis Press.

DE LA SOUDIÈRE M. 1999. « *Au bonheur des saisons* ». Grasset et Fasquelle.

## ETUDE ISOTOPIQUE ET SPATIALISATION DU CARBONE DANS L'AGGLOMERATION DIJONNAISE

Y. RICHARD \*, J. LEVEQUE \*\*, P. AMIOTTE-SUCHET \*\* ET R. METZGER \*

\* Centre de Recherches de Climatologie, CNRS / Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel 21000 Dijon-France

\*\* Géosol, Microbiologie des sols, INRA / Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel 21000 Dijon-France

[yrichard@u-bourgogne.fr](mailto:yrichard@u-bourgogne.fr)

### Résumé

Des graminées sont prélevées dans 53 sites de l'agglomération dijonnaise. Analysées par spectrométrie de masse, elles permettent une cartographie ponctuelle des valeurs  $\delta^{13}\text{C}$ , rapport isotopique corrélé aux concentrations de  $\text{CO}_2$ . Des cartes des valeurs  $\delta^{13}\text{C}$  sont également réalisées par interpolation et régressions multiples basées sur des variables associées aux émissions de  $\text{CO}_2$  et à l'environnement. Une organisation de type centre-périphérie prédomine.

**Mots-clés :** carbone atmosphérique, Dijon, analyse isotopique de plantes, SIG.

### Abstract

Graminaceous are taken in 53 sites of the agglomeration of Dijon. Analyzed by mass spectrometry, they allow a cartography of  $\delta^{13}\text{C}$  values, isotopic ratio related to  $\text{CO}_2$  concentrations. Maps of  $\delta^{13}\text{C}$  values are also carried out by interpolation and multiple regressions based on variables associated to  $\text{CO}_2$  emissions and to the environment. A center-periphery organization prevails.

**Key-words:** atmospheric carbon, Dijon, isotope values of plants, GIS.

### Introduction

A l'échelle planétaire, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) participe à l'effet de serre. Sous l'effet des activités humaines, sa concentration de fond augmente depuis l'ère préindustrielle ( $\pm 280$  ppmv) pour atteindre 377 ppmv en 2003. Aux échelles fines, le  $\text{CO}_2$  est peu étudié du fait de sa non toxicité. Son suivi n'est pas dans le cahier des charges des ASQA. Cependant, c'est sur la base de connaissances localisées : 1/ qu'une politique visant à la limitation des émissions gagnerait en efficacité, 2/ que l'étude des dômes de chaleur urbains, non indépendante de celle des dômes de  $\text{CO}_2$  (Idso *et al.* 1998 ; Balling *et al.*, 2002), devrait être menée et, 3/ que les taux de croissance des végétaux et de fixation du carbone dans une atmosphère enrichie en  $\text{CO}_2$ , faisant des villes des laboratoires du futur, pourraient être analysés.

Le carbone existe sous quatre formes isotopiques : deux radioactives ( $^{14}\text{C}$  et  $^{11}\text{C}$ ) et deux stables ( $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ ) à raison de 98,9% de  $^{12}\text{C}$  et de 1,1% de  $^{13}\text{C}$ . L'abondance de  $^{13}\text{C}$ , est exprimée par le rapport isotopique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou en comparaison à un étalon : le  $\delta^{13}\text{C}$ .  $\delta^{13}\text{C}$  mesure l'écart (en ‰) entre la valeur du rapport isotopique de l'échantillon et celle d'un standard international (PDB). Le  $\delta^{13}\text{C}$  de l'atmosphère de fond, à l'époque pré-industrielle, présentait une valeur approximative de  $-6,6$  ‰. (Berger, 1992). La combustion des produits pétroliers fossiles, les brûlis et la valorisation agricole des sols rejettent du  $\text{CO}_2$  appauvri en  $^{13}\text{C}$ . Ils tendent à faire chuter la valeur  $\delta^{13}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  atmosphérique moyen.

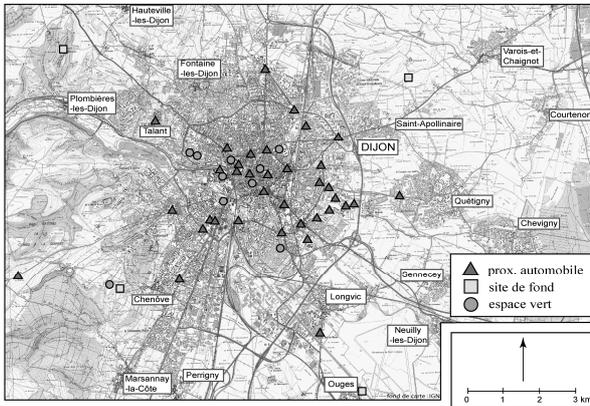
Dans les zones urbaines, la signature isotopique des rejets de  $\text{CO}_2$  présente une valeur moyenne de  $-27,28$  ‰ (Marino *et al.*, 1991). L'utilisation de bio-indicateurs passifs par prélèvement de végétation « naturelle », permet d'estimer le  $\delta^{13}\text{C}$  atmosphérique qui contrôle fortement les  $\delta^{13}\text{C}$  des tissus des végétaux de type C3 (Ghaishghaie et Tcherkez, 2001). Cette méthode simple, peu coûteuse, donne une bonne estimation de l'étendue et des niveaux de pollution, car les concentrations en  $\text{CO}_2$  et le  $\delta^{13}\text{C}$  sont étroitement corrélés (Clark-Thorne et Yapp, 2001). A Dijon, agglomération peu industrielle

de 240.00 habitants, les concentrations de CO<sub>2</sub> sont ponctuellement (dans l'espace et dans le temps) élevées (Gamba, 2003).

## 2. Données et méthodes

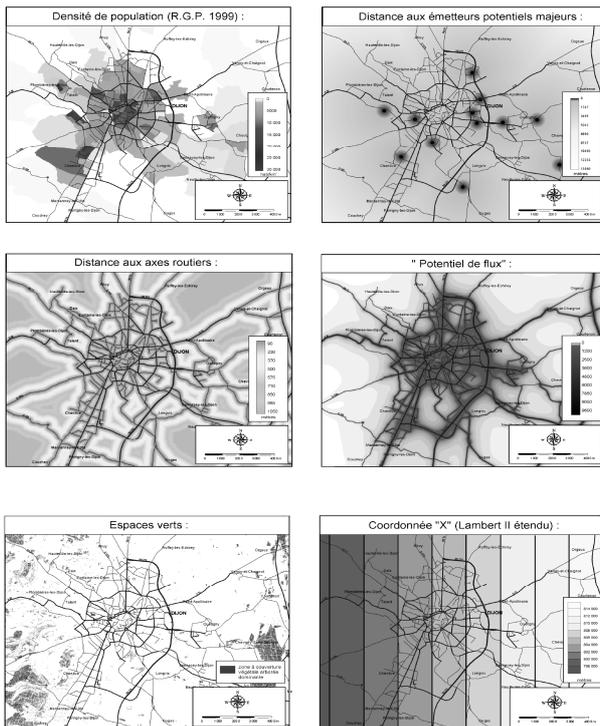
L'analyse porte sur une collecte de graminées effectuée en juin 2001 sur 53 sites (fig. 1) : 39 urbains, 10 espaces verts (parcs intra-urbains et une forêt hors agglomération) et 4 sites de fond (agricoles ou naturels sans véritable couverture arborée). Les  $\delta^{13}\text{C}$  ont été déterminés à l'aide d'un spectromètre de masse à secteur isotopique dont le principe est basé sur l'ionisation et la séparation magnétique du flux de CO<sub>2</sub> issu de la combustion de l'échantillon à analyser (Metzger, 2004 pour description précise).

Figure 1 : 53 sites de prélèvement de graminées.



Un SIG constitué des  $\delta^{13}\text{C}$  et de couches explicatives déterminées à partir de la littérature (Pataki et al, 2003) concernant les caractéristiques physiques, relatives à l'occupation de l'espace ou encore aux activités anthropiques, a été mis en place. Le cadre englobe l'agglomération et ses marges périurbaines (25 km d'Ouest en Est et près de 17 km du Nord au Sud). Les sites de mesure du  $\delta^{13}\text{C}$  et les différents prédicteurs sélectionnés ont été géoréférencés en mode Raster en coordonnées Lambert II étendu (fig. 2).

Figure 2 : Principaux prédicteurs des  $\delta^{13}\text{C}$ .



Les six principaux concernent des émetteurs (ponctuels, linéaires ou surfaciques) identifiés notamment à partir des données CITEPA (1997). Ils intègrent également l'environnement et le positionnement (espaces verts, altitude, latitude et longitude). Ces prédicteurs ont été utilisés pour l'élaboration de modèles d'estimation des  $\delta^{13}\text{C}$  par régressions linéaires multiples. Pour conserver la précision des données-source nécessaires à la bonne prise en compte de la variation spatiale très rapide des valeurs  $\delta^{13}\text{C}$  au sein du tissu urbain, une maille de 7,5 m sur 7,5 m a été utilisée (10 millions de cellules par couche).

## 3. Résultats

### 3.1. Cartographie ponctuelle des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ .

La carte par points des 53 sites présente des valeurs  $\delta^{13}\text{C}$  s'échelonnant de -28,21 (secteur peu pollué) à -33,20 ‰ (secteur pollué non montrée). Leur distribution, bien que bruitée, révèle une organisation de type centre-périphérie typique du domaine urbain (Windory et Javoy, 2003). Toutefois, des niveaux isotopiques élevés sont mesurés dans les espaces

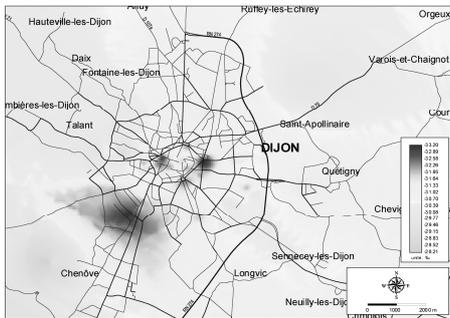
verts du centre de l'agglomération. Marqués par la prédominance d'une couverture arborée, ils se caractérisent par un faible niveau de pollution, leur rapport isotopique étant, en moyenne, près d'1,5 point supérieur à l'ensemble des individus.

### 3.2. Corrélations simples entre les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ et les prédicteurs du SIG.

Les deux caractères concernant des sources ponctuelles, distance aux émetteurs ponctuels ainsi que son logarithme, sont faiblement corrélés aux  $\delta^{13}\text{C}$  ( $R=0,15$ ). Ceci révèle une influence modérée, au niveau du sol, de ce type de source car : 1/ les établissements (industries ou chaufferies) réalisent la majorité de leurs rejets de  $\text{CO}_2$  au sommet de la couche dite de canopée à l'aide de conduits d'évacuation appropriés et 2/ leur nombre est faible sur l'agglomération dijonnaise. L'incidence de la circulation automobile est plus prégnante. Les corrélations avec la distance aux axes et son logarithme sont plus fortes ( $R=0,54$ ) :  $\delta^{13}\text{C}$  croît avec l'éloignement aux voies de circulation. Enfin, les caractères relatifs aux sources aréales montrent des corrélations faibles ( $R$  compris entre  $-0,08$  et  $-0,18$ ) : aux densités élevées de population, de logements ou d'actifs (ainsi que leurs logarithmes) correspondent des  $\delta^{13}\text{C}$  faibles.

Parmi les variables environnementales et de positionnement, le caractère espace verts présente la liaison simple la plus intense avec les données isotopiques ( $R=0,58$ ). Ceci confirme la spécificité de ces sites (fort  $\delta^{13}\text{C}$ ) ainsi que la bipolarisation de la population originelle. La relation avec l'altitude est nette :  $\delta^{13}\text{C}$  croît avec l'altitude. Toutefois, du fait de la configuration du site de Dijon, ceci traduit plus l'existence de covariations spatiales que d'un lien causal hypsométrie / isotopie.

Figure 3 : Interpolation des  $\delta^{13}\text{C}$ .



### 3.3. Cartographie de valeurs $\delta^{13}\text{C}$ par interpolation.

Le champ des valeurs isotopiques  $\delta^{13}\text{C}$  généré par interpolation utilisant l'algorithme de l'inverse du carré de la distance est très dépendant du positionnement des points échantillonnés (fig. 3). Marqué par de nombreux effets de pépites, il est peu vraisemblable aux marges de l'aire d'étude. Au-delà de ces artefacts, il témoigne : 1/ de la distribution de type centre-périphérie avec un écart maximal au PDB au sud-ouest de l'agglomération, 2/ de l'influence des espaces verts sur leur environnement, notamment en centre-ville.

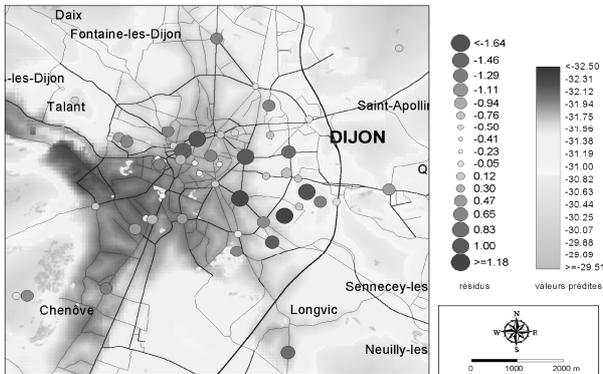
### 3.4. Cartographie des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ par régression multiple.

Le modèle de régression linéaire retenu traite les 53 lieux d'échantillonnage. Les 5 prédicteurs (nombre fixé) se partagent entre variables relatives aux émetteurs et environnementales : "espaces verts", "distance aux axes", "densité d'actifs", "altitude" et "longitude". Le coefficient de détermination est de 66 %. La robustesse du modèle a été examinée à partir de 6 échantillons d'apprentissage. Dans chaque cas, les mêmes prédicteurs ont été retenus par l'algorithme et les équations présentaient des coefficients voisins.

La représentation cartographique issue de ce modèle est plus crédible que celle obtenue par interpolation. Elle témoigne d'une organisation d'ensemble des valeurs  $\delta^{13}\text{C}$  de type centre-périphérie. A cette organisation se surimpose une dissymétrie Est-Ouest avec une extension des valeurs basses de  $\delta^{13}\text{C}$  plus marquée en direction de la Plaine de la Saône que vers les Plateaux de Côte-d'Or. A l'échelle de l'agglomération, une opposition Nord-Nord-Ouest / Sud-Sud-Est est à noter. La moitié septentrionale de la Ville de Dijon apparaît moins "contaminée" que sa portion méridionale, au sud d'un axe Talant-Longvic. Les valeurs isotopiques les plus faibles (pollution maximale) sont atteintes au Sud-Ouest, entre la Fontaine d'Ouche, Chenôve et le cœur du secteur sauvegardé central, à savoir des quartiers à fortes densités de population où dominent immeubles et bâtis continus.

L'examen des résidus permet d'estimer la fiabilité de la simulation. Pour les résidus positifs (cercles pleins), la valeur  $\delta^{13}\text{C}$  est supérieure à la donnée prédite : le site est moins contaminé que ce à quoi l'on pourrait s'attendre en fonction des descripteurs pris en compte. A contrario, pour les résidus négatifs (cercles vides), le modèle sous-estime la contamination. Les résidus ne présentent pas de structure spatiale organisée : valeurs négatives et positives alternent dans l'agglomération et en zone périurbaine. Il n'y a pas de correspondance entre les résidus et le type de lieu de collecte (urbain et/ou proximité automobile, fond, espace vert). Cette absence d'autocorrélation spatiale et sitologique traduit la capacité de l'ajustement à relier des niveaux atteints par le bio-indicateur dans leurs grandes tendances, et à les extrapoler.

Figure 4 : Estimation des  $\delta^{13}\text{C}$  par régression linéaire multiple.



La spatialisation restitue certaines variations plus fines à l'origine de discontinuités ou de ruptures marquées : 1/ l'influence, de nature linéaire, des voies de circulation très visible en zone périurbaine et, 2/ la spécificité des espaces verts (parcs, forêts, ripisylves) où sont associés des accroissements de l'ordre de 2 ‰ des valeurs  $\delta^{13}\text{C}$  correspondant au différentiel moyen entre les données des sites d'échantillonnage hors espaces verts et à couverture arborée dominante. La prise en compte de ces derniers génère des

fluctuations d'ordre décimétrique des valeurs isotopiques prédites, à l'origine de ruptures spatiales fortes.

## Conclusions

Les prélèvements de graminées sur 53 sites, leur analyse par spectrométrie de masse pour déterminer les valeurs  $\delta^{13}\text{C}$ , puis la mise en place d'un SIG, ont permis de constituer les premières cartographies de pollution au  $\text{CO}_2$  pour l'agglomération dijonnaise. L'organisation d'ensemble est de type centre-périphérie, mais le sud-ouest semble particulièrement concerné. L'étude de prédicteurs liés aux émissions ou aux contraintes de dispersion a permis d'identifier les principaux facteurs. Il s'agit en tout premier lieu du trafic routier. L'influence de la structure du bâti urbain semble un prédicteur éventuel qu'il convient d'établir dans les investigations futures. Par ailleurs, le rôle des espaces verts, en particulier en centre-ville, s'est avéré très important. Cette étude sera doublée de mesures à des pas de temps fins, afin de mieux discerner l'importance des contrôles atmosphériques liés aux conditions météorologiques, éléments intégrés sur une saison végétative dans les graminées prélevées.

## Bibliographie

- BALLING JR., CERVENY R.S., IDSO C.D., 2002: Does the urban  $\text{CO}_2$  dome of Phoenix, Arizona contribute to its heat island? *Geophysical Research Letters*, 28, 4599-4601.
- BERGER A., 1992: *Le Climat de la terre, un passé pour quel avenir?* Bruxelles : De Boeck Université, 479 p.
- CITEPA, 1997: *Inventaire d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air – région de Bourgogne*. Paris : CITEPA.
- CLARK-THORNE S.T., YAPP C.J., 2001: Stable carbon isotope constraints on mixing and mass balance of  $\text{CO}_2$  in an urban atmosphere: Dallas metropolitan area, Texas, USA. *Applied Geochemistry*.
- GAMBA N., 2003: *Mesure du  $\text{CO}_2$  atmosphérique en milieu urbain, étude du flux et de ses variations à l'aide des isotopes du carbone*. Dijon, Université de Bourgogne, 30 p.

- GHAISHGHAIE J., TCHERKEZ., 2001: Utilisation de la spectrométrie de masse isotopique en physiologie végétale. *Génomique fonctionnelle*, 97-105.
- IDSO C.D., IDSO S.B., BALLING JR., 1998: The urban CO<sub>2</sub> dome of Phoenix, Arizona. *Physical Geography*, 19, 95-108.
- IDSO S.B., IDSO C.D., BALLING JR., 2002: Seasonal and diurnal variations of near-surface atmospheric CO<sub>2</sub> concentration within a residential sector of the urban CO<sub>2</sub> dome of Phoenix, A-Z, USA. *Atmospheric Environment*, 36, 1655-1660.
- MARINO B.D., MC ELROY M.B., 1991: Isotopic composition of atmospheric CO<sub>2</sub> inferred from in C4 plant cellulose. *Nature*, 349, 127-131.
- METZGER R., 2004: Approche dynamique et statique d'un dôme urbain de dioxyde de carbone. Exemple de l'agglomération de Dijon. Dijon, 50 p.
- PATAKI D.E., BOWLING D.R., EHLERINGER J.R., 2003: Seasonal cycle of carbon dioxide and its isotopic composition in an urban atmosphere : anthropogenic and biogenic effects. *Journal of Geophysical Research*, 108.
- WINDORY D., JAVOY M., 2003: The carbon isotope composition of atmospheric CO<sub>2</sub> in Paris. *Earth and Planetary science Letters*, 215, 289-298.



## PLAN DES MESURES D'ASSAINISSEMENT DE L'AIR POUR LES PETITES VILLES EN SUISSE

J. FALLOT

*EFLUM – ISTE – ENAC, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),  
CH- 1015 Lausanne, Suisse, E-mail : [Jean-Michel.Fallot@unil.ch](mailto:Jean-Michel.Fallot@unil.ch)*

### Résumé

Cet article présente la méthodologie et quelques résultats obtenus pour des plans des mesures d'assainissement de l'air réalisés dans de petites villes en Suisse.

**Mots-clés:** plan des mesures, qualité de l'air, ville, émissions, immissions, mesures de protection, modèles tridimensionnels.

### Abstract

In this paper, methodology and some results are presented for air cleaning up in small cities in Switzerland.

**Key-words:** air cleaning-up, air pollution, city, emissions, immissions, protection measures, tridimensional models

### Introduction

La qualité de l'air était préoccupante dans la plupart des villes en Suisse durant les années 1980, si bien que la Confédération suisse a légiféré dans ce domaine, en imposant notamment la réalisation de plans des mesures d'assainissement de l'air pour ces villes. Ces plans des mesures doivent identifier les sources d'émissions responsables des immissions excessives, puis proposer et évaluer des mesures de protection pour améliorer la qualité de l'air urbain. Cet article présente rapidement les méthodes adoptées pour la réalisation de ces plans de mesures, puis quelques résultats obtenus dans une petite ville du Jura Suisse : Delémont.

### 1. Méthodes

Pour un plan des mesures, il convient tout d'abord d'identifier toutes les sources de polluants en établissant un inventaire détaillé (cadastre) des émissions atmosphériques dans la zone étudiée (ville) pour les chauffages, le trafic et les industries & artisanat. Pour les émissions du trafic routier, il faut déterminer le nombre de véhicules sur chaque route à partir de comptages et de pronostics, ainsi que les coefficients d'émissions pour différentes catégories de véhicules et conditions de circulation (OFEFP, 1995a). Pour les émissions de chauffage, il s'agit de calculer la consommation énergétique de chaque bâtiment en fonction du type de chauffage, du nombre d'habitants et/ou d'emplois, puis d'introduire les coefficients d'émission appropriés pour chaque type de combustible et chaque polluant (OFEFP, 1995b). Les émissions des industries et d'artisanat sont évaluées à partir de banques de données récoltées par les offices cantonaux de la protection de l'environnement.

Une fois les émissions inventoriées, il s'agit de voir comment les polluants rejetés dans l'atmosphère vont influencer la qualité de l'air pour l'ensemble de la région étudiée. Pour cela, on calcule les immissions des polluants à l'aide de modèles tridimensionnels de dispersion qui permettent de déterminer avec précision les paramètres influençant le transport, la dispersion et les transformations des polluants lors de leur séjour dans l'atmosphère, pour une topographie accidentée. Ces calculs nécessitent une bonne connaissance des écoulements régionaux et du comportement très local de la dispersion des polluants, si bien qu'on doit utiliser 2 modèles différents, couplés entre eux : un modèle météorologique à méso-échelle pour les écoulements régionaux et un modèle de dispersion à micro-échelle pour calculer les concentrations moyennes des polluants près du sol en ville. Ces calculs se font pour un certain nombre d'épisodes types, selon

une méthodologie décrite dans Fallot et al. (1993), afin de déterminer les concentrations moyennes annuelles et journalières extrêmes des polluants pour l'ensemble de la région étudiée. Les résultats obtenus par les modèles sont ensuite confrontés avec les mesures in situ. Une fois les émissions et les immissions des polluants déterminées avec précision, on peut alors proposer des mesures de protection et évaluer leurs effets avec ces modèles.

## 2. Résultats

Nous présentons à titre d'exemple les concentrations calculées pour les oxydes d'azote et les impacts de quelques mesures de protection proposées dans le cadre du plan des mesures en cours d'élaboration pour la petite ville de Delémont (Fallot et Hertig, 2004) : ces polluants sont actuellement les plus préoccupants avec l'ozone et les poussières fines (PM10).

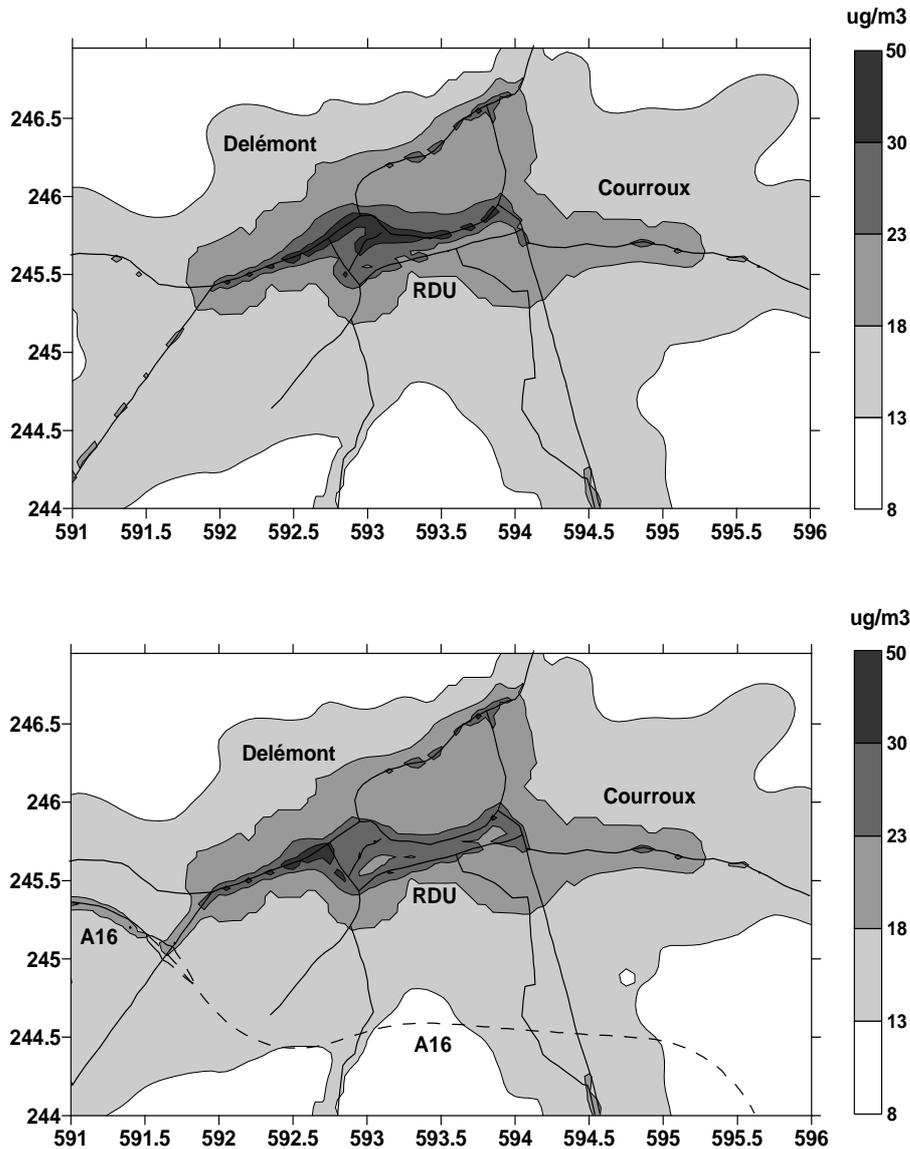


Figure 1 : Concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) calculées pour l'agglomération de Delémont en 2002 avant (en haut) et après (en bas) l'ouverture de la route de distribution urbaine (RDU)

La figure 1 présente les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> calculées pour l'état initial en 2002 dans l'agglomération de Delémont à partir des émissions des oxydes d'azote (NOx) inventoriées dans le secteur étudié. Les traits en noir correspondent aux routes principales et on retrouve les concentrations de NO<sub>2</sub> les plus élevées au bord des routes les plus chargées dans le centre ville. Ceci confirme que les immissions moyennes de NO<sub>2</sub> ont surtout une origine locale et qu'elles proviennent en premier des émissions du trafic routier. Les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> calculées par les modèles ont été comparées avec les valeurs mesurées sur le terrain durant une année à 11 endroits représentatifs au centre-ville, en périphérie et dans la campagne autour de Delémont. Les écarts entre les concentrations calculées et mesurées n'ont pas dépassé 20% pour cette année-là, ce qui est bon pour une topographie aussi complexe que la région de Delémont.

On en déduit que les calculs des modèles sont aussi bons dans toutes les autres régions du domaine et que la méthodologie et les modèles tridimensionnels utilisés aboutissent à de bons résultats pour les immissions moyennes annuelles de ces polluants. Une fois les modèles calés pour une année de référence, on peut ensuite faire des prévisions pour le futur et pour d'autres scénarios. Pour l'état initial avant les premières mesures de protection prises pour l'air (fig. 1 en haut), la valeur limite d'immission annuelle de 30 µg/m<sup>3</sup> en vigueur en Suisse pour le NO<sub>2</sub> était dépassée dans ce centre de Delémont avec des valeurs proches de 50 µg/m<sup>3</sup> le long de l'axe routier principal par où circulait une bonne partie du trafic régional et de transit

Les mesures de protection ont d'abord concerné le trafic routier qui pose le plus de problèmes à Delémont comme dans la plupart des villes. La première mesure a été de construire une route d'évitement au Sud de Delémont (=RDU) afin de décharger l'axe principal routier du centre ville. Avec cette mesure, le trafic a diminué de moitié le long de cet axe et il s'est reporté sur la RDU. La figure 1 en bas présente les impacts de cette mesure en l'an 2002. On constate que les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> au centre le long de cet axe principal ont fortement baissé et qu'elles respectent dorénavant la valeur limite d'immission de 30 µg/m<sup>3</sup> pour ce polluant dans la moitié Est. Mais cette valeur est encore dépassée le long de cet axe dans la moitié Ouest de la ville où le trafic n'a pas diminué.

D'autres mesures non illustrées ici ont été examinées pour réduire encore le trafic au centre ville. La première a été de voir si l'ouverture prochaine de l'autoroute A16 au Sud de Delémont allait décharger le centre ville, notamment du trafic de transit. Les prévisions montrent qu'une telle ouverture ne provoquera qu'une baisse modeste du trafic et des concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> (-1 à -3 µg/m<sup>3</sup>) dans le centre de Delémont, car le trafic de transit est faible et la plupart des automobilistes ont pour destination la capitale jurassienne. Les concentrations de NO<sub>2</sub> restent excessives dans la moitié Ouest du centre de Delémont et cela résulte du trafic pendulaire et intraurbain.

La 2<sup>ème</sup> mesure a été d'examiner les effets d'une diminution théorique de 20% de ce trafic consécutivement à une plus grande utilisation des transports publics. Les calculs ont montré qu'une diminution de 20% du trafic des pendulaires venant des villages voisins aura plus d'impact sur la qualité de l'air dans le centre de Delémont qu'une baisse de 20% du trafic intraurbain allant d'un quartier à l'autre de cette ville. Cela confirme que le trafic des pendulaires pose également des problèmes dans les petites villes. Une baisse de 20% de ce trafic-là permettrait de respecter presque partout dans Delémont les valeurs limites d'immission pour le NO<sub>2</sub>. Il reste à trouver des solutions pour créer des transports publics attractifs et rentables dans cette petite ville qui inciteraient au moins 20% des pendulaires à renoncer à leur voiture pour se déplacer.

## Conclusion

Les plans des mesures d'assainissement de l'air constituent des outils efficaces pour réduire les nuisances atmosphériques dans les villes. Ils permettent d'identifier les principales sources

d'émissions des polluants et de reproduire avec précision les concentrations moyennes de ces polluants à partir d'une méthodologie et de modèles tridimensionnels développés pour une topographie accidentée. On peut ensuite proposer et évaluer efficacement diverses mesures de protection de l'air, notamment à l'encontre du trafic des pendulaires qui pose également le plus de problèmes dans les petites villes.

### **Bibliographie**

FALLOT J.-M., HERTIG J.-A., EFRANCEY N., TORCHE C., 1993 : Etudes d'impacts atmosphériques : problématique et méthodologie pour le cas de projets dans une topographie accidentée. Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg, Suisse, UKPIK N°9, p. 67-91.

FALLOT J.-M., HERTIG J.-A., 2004 : Plan des mesures d'assainissement de l'air pour la ville de Delémont. Rapport destiné à l'Office des Eaux et de la Nature du Jura, Version 2<sup>ème</sup> lecture, 80 p.

OFEFP\*, 1995 : Emissions du trafic routier de 1950 à 2010. Cahiers de l'Environnement n°255, 420 p. Emissions du trafic routier de 1950 à 2020. Complément 2000. Cahiers de l'Environnement n°255, 82 p.

OFEFP\*, 1995 : Manuel. Coefficients d'émission des sources stationnaires.

OFEFP = Office Fédéral suisse de l'Environnement, des Forêts et du Paysage.

## **POLLUTION PHOTOCHIMIQUE URBAINE EN MILIEU LITTORAL : EXEMPLE DE LA REGION CAENNAISE (NORMANDIE).**

**A. DUDOUIT.<sup>1</sup> et H. QUENOL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université de Caen Basse Normandie, UMR 6554 LETG du CNRS, Laboratoire GEOPHEN, Esplanade de la Paix, BP 5186, 14032 Caen Cedex. [dudouit@geo.unicaen.fr](mailto:dudouit@geo.unicaen.fr)

<sup>2</sup> Université Rennes 2, UMR 6554 LETG du CNRS, Laboratoire COSTEL, Place du Recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes Cedex. [herve.quenol@uhb.fr](mailto:herve.quenol@uhb.fr)

### **Résumé**

Cet article présente une étude sur la variabilité spatio-temporelle des concentrations d'ozone en période de pollution photochimique par temps de brise de mer. Les résultats ont montré que la prise en compte des facteurs locaux dans un phénomène grande échelle était primordiale pour la connaissance et la compréhension du risque de pollution dans la région caennaise.

**Mots clés :** brise de mer, pollution photochimique, variabilité spatio-temporelle, région caennaise

### **Abstract**

This article presents a study of the ozone concentrations space-time variability with a sea breeze circulation. The results showed that the taking into account of the local factors in a large scale phenomenon was paramount for the knowledge and the comprehension of the pollution risk in the Caen area.

**Key words :** sea breeze, photochemical pollution, space-time variability, Caen area

### **Introduction**

Depuis plusieurs années, la pollution atmosphérique est un thème de recherche important dans de nombreuses disciplines dont la géographie. La multiplication des pollutions d'origines diverses et les conséquences néfastes pour la population ont fait prendre conscience de l'enjeu d'une meilleure compréhension des phénomènes (physico-chimique, climatique...).

L'agglomération caennaise, par sa situation géographique et sa topographie, présente plusieurs caractéristiques ayant des incidences sur la qualité de l'air. Située à environ 15 kilomètres de la Côte de Nacre, elle est soumise aux circulations de brise de mer et de terre qui, dans un contexte général de pollution importée de l'Europe de l'Ouest, entraîne une "organisation" spatio-temporelle des concentrations d'ozone particulières (Dudouit, 2004). L'étude présentée ici a pour but de montrer par une analyse statistique et cartographique le rôle des facteurs locaux sur la répartition des concentrations d'ozone en période de brise de mer.

L'étude des données de concentrations d'ozone issues du réseau de mesures d'Air C.O.M. (organisme s'occupant de la qualité de l'air en Basse-Normandie) a montré que le littoral, les milieux ruraux ainsi que la périphérie des espaces urbains sont fortement exposés au risque de pollution photochimique par temps de brise de mer.

### **1. Données et méthode**

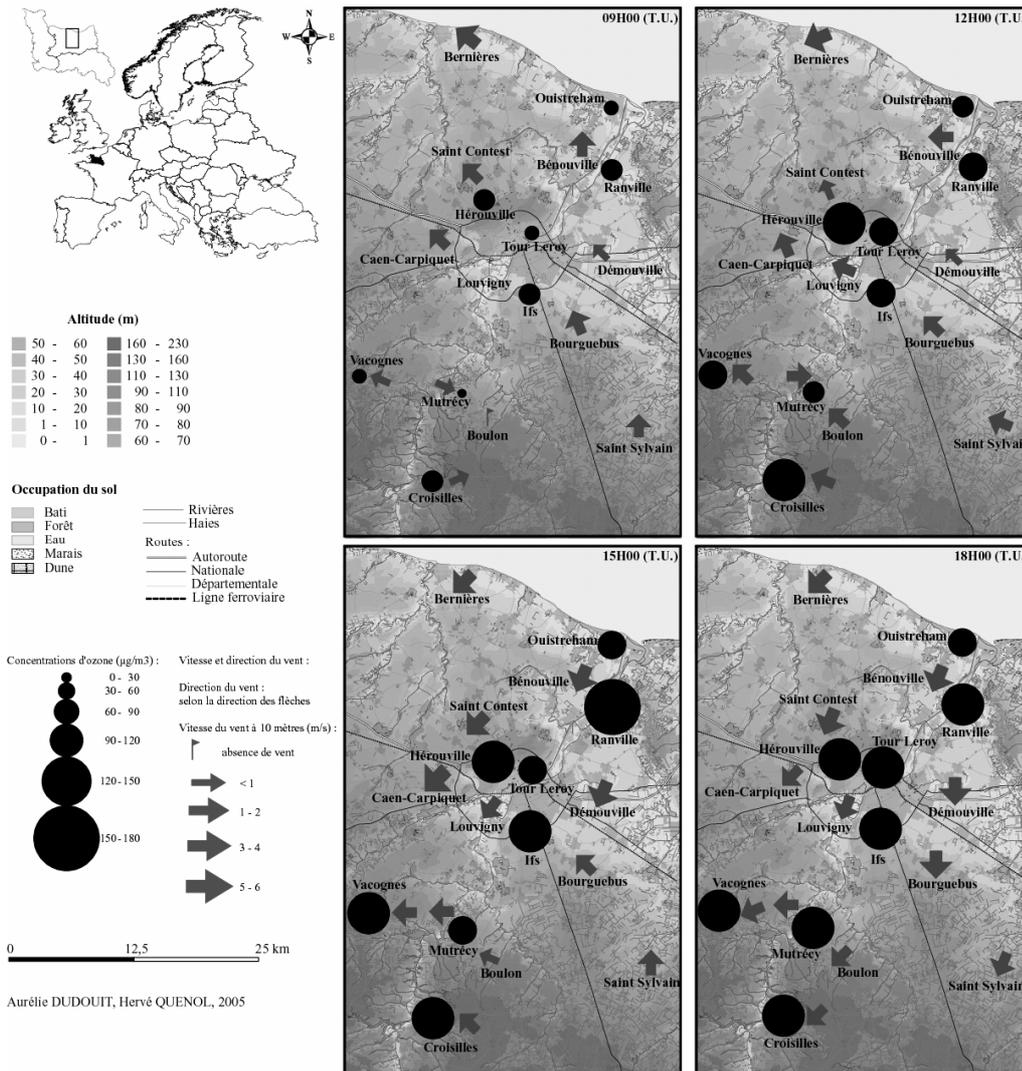
La région caennaise présente l'intérêt d'associer des milieux et des occupations du sol très variés. Du nord au sud, la région d'étude voit se succéder divers paysages de type littoral, urbain et périurbain ainsi que rural. Le nord de la zone d'étude est caractérisé par un habitat groupé le long du littoral. Autour de Caen, la plaine de Caen est caractérisée par un habitat dispersé dans un paysage d'openfield dont l'altitude s'élève graduellement jusqu'à 100 mètres. Au sud de la région caennaise, l'openfield laisse la place au bocage. Les haies associées à la présence de forêts et à un relief plus accidenté (300 m) font de cette zone un milieu particulièrement turbulent pour l'aérogologie et la dispersion des polluants.

Entre 1997 et 2004, les données météorologiques et les concentrations d'ozone ont été recueillies auprès des réseaux de mesures officiels de Météo-France (3 stations : Bernières, Caen-Carpique et

Saint Sylvain) et de Air C.O.M. (5 stations : Ouistreham, Ranville, Hérouville, Tour Leroy et Ifs). Parallèlement, des campagnes de mesures ont été réalisées avec 8 stations météorologiques type Davis (Bénouville, Saint Contest, Louvigny, Démouville, Bourguebus, Vacognes, Mutrécy, Boulon), 2 analyseurs d'ozone type 42M (Vacognes et Mutrécy) et le camion laboratoire de Air C.O.M. (Croisilles). Les paramètres météorologiques mesurés sont la direction et la vitesse du vent, la température de l'air et l'humidité relative. Concernant la cartographie, l'occupation du sol et la topographie ont été intégrées dans un système d'information géographique à partir des Scan 25 et de la BD alti de l'IGN (Beguin et al., 1994).

## 2. Résultats

La cartographie de la répartition spatio-temporelle des concentrations d'ozone en fonction de l'aérogologie montre l'influence des facteurs locaux dans un contexte général de pollution importée (Carte 1).



Carte 1 : Répartition spatio-temporelle des concentrations d'ozone par temps de brise de mer : exemple du 30/05/200

La rétrotrajectoire de la masse d'air calculée pour la journée du 30/05/2003 montre clairement la provenance continentale de la masse d'air et conforte les prévisions établies par le modèle PREV'AIR (Inéris), à savoir l'arrivée d'une masse d'air exogène chargée en polluants. La carte synoptique montre l'influence d'un large anticyclone situé sur l'Europe de l'Ouest favorable aux températures élevées et apportant un flux en altitude d'est à sud-est. La température de l'air maximale de la journée de 27,5°C a été enregistrée à 11h00 avec un vent du sud et de faible intensité : 2 m/s. Le vent enregistré ce jour-ci a été marqué par une évolution de la direction et un renforcement de la vitesse diurne caractéristique d'une circulation de brise de mer. Ces conditions sont caractéristiques des épisodes de pollution photochimique dans la région caennaise.

Les concentrations d'ozone mesurées à 09h00 (T.U.) résultent de la photochimie en raison de l'augmentation du rayonnement solaire. Les oxydes d'azote émis par le trafic routier depuis le début de la journée sont alors transformés en ozone. Des concentrations d'ozone plus importantes sont enregistrées aux stations situées en milieu rural : Ranville, Vacognes, Mutrécy et Croisilles, et à la périphérie de l'agglomération caennaise : Chemin vert et Ifs (puits d'ozone en milieu urbain et à proximité des forêts). La direction et la vitesse du vent sont soumises au flux synoptique excepté au sud de la zone d'étude où des effets micro locaux sont observés. Un vent général souffle du sud-est et transporte l'ozone vers le littoral.

A 12h00, les concentrations d'ozone mesurées sont dues de la destruction de la couche d'inversion de température. Les concentrations d'ozone piégées en altitude depuis la veille sont alors rabattues au sol et viennent "s'ajouter" à celles produites le matin même sans être détruites en raison de l'inexistence de puits d'ozone en altitude et de la durée de vie assez longue de la molécule d'ozone (environ 7 jours). La variabilité spatiale des concentrations d'ozone résulte toujours de l'influence de la topographie et de l'occupation du sol. La brise de mer commence à souffler sur le littoral tandis que des effets locaux sont toujours présents au sud de la zone d'étude.

A 15h00, les importantes concentrations d'ozone enregistrées s'expliquent par l'apparition de la brise de mer qui entraîne un rabattement de l'ozone transporté depuis le matin par un flux de terre sans qu'il y ait destruction parce qu'il n'y a pas de puits d'ozone au-dessus des surfaces aquatiques. Au sud de la zone d'étude, la variabilité spatiale des concentrations d'ozone résulte toujours d'effets locaux parce que la brise de mer n'est pas encore établie.

A 18h00, la brise de mer établie sur la totalité de la zone d'étude entraîne une homogénéité spatiale des concentrations d'ozone.

## **Conclusion**

L'exemple de la journée du vendredi 30/05/2003 montre toute la complexité des phénomènes mis en jeu lors d'un épisode de pollution photochimique par temps de brise de mer dans la région caennaise. La forte variabilité spatio-temporelle des concentrations d'ozone est engendrée par la combinaison de phénomènes se produisant à des échelles spatio-temporelles différentes et emboîtées :

Une pollution importée depuis l'Europe de l'Ouest qui persiste depuis deux jours et une pollution locale liée au trafic routier ;

Une accumulation des concentrations d'ozone d'un jour à un autre ;

Les effets de la brise de mer en relation avec les caractéristiques topographiques et d'occupation du sol du site.

Par conséquent, la spatialisation de la pollution photochimique par temps de brise de mer implique la construction d'un modèle prenant en compte l'imbrication des échelles spatio-temporelles et l'influence de la topographie et de la nature de la surface. Un modèle statistique type régression multiple intégré dans un SIG semble être l'outil le mieux adapté (Beguin et al., 1994).

**Bibliographie**

BEGUIN, M., PUMAIN, D., 1994 ; La représentation des données en géographie. Statistique et cartographie, Paris, Armand Colin, Col. Cursus, Série Géographie, 192 p.

DUDOUIT, A., 2004 ; Une étude de brise de mer dans la région caennaise. Vers une aide à la prévention de la pollution photochimique en milieu littoral, *Norois*, 193, 4, 31-45 p.

# LES SEQUENCES DE JOURS A FORTES PLUIES DANS LES VILLES A RISQUE D'INONDATION EN TUNISIE

Z. HELAOUI

Faculté des Sciences Humaines et Sociales; 94 BV 9 avril 1938 Tunis, TUNISIE (1007)

UR : Eau, Environnement et Développement Durable en Tunisie

Mail:Zouhaierhlaoui@yahoo.fr Fax : (00.216)71.567551

## Résumé:

Dans cette communication nous nous proposons d'étudier les séquences des jours de fortes pluies susceptibles de provoquer des inondations dans les villes les plus menacées de la Tunisie et d'analyser la relation entre ces fortes pluies et les inondations enregistrées.

**Mots-clé :** Climat, jour de pluie, séquences pluvieuses, variabilité, inondations, Tunisie.

## Abstract

In this paper, we will study the sequences of days with heavy rainfall that are likely to engender floods in the most threatened cities of Tunisia, and to analyze the relation between this heavy rainfall and the floods that have taken place.

**Key words:** Climate, days of rain, rain sequences, variability, floods, Tunisia

## Introduction

Les précipitations sont modestes en Tunisie. Elles sont en outre très irrégulières (Benzarti et al, 2004). Des périodes de sécheresses intenses alternent avec des périodes plus ou moins pluvieuses. Lors des années humides, les totaux pluviométriques peuvent être générés par des séquences de pluies intenses mais de courte durée quelques averses à quelques jours). Les abats de fortes pluies sont souvent à l'origine des inondations (Ouslati, 1999). Les dégâts peuvent être très importants notamment dans les grandes villes exposées à ce risque. Au cours des trente dernières années, au moins cinq événements importants ont été enregistrés en Tunisie : Les inondations de l'automne 1969, décembre 1973, octobre 1982, janvier 1990 et tout récemment septembre – décembre 2003.(Kassab, 1979).

Dans cette communication nous nous proposons d'étudier les séquences des jours de fortes pluies susceptibles de provoquer des inondations dans les villes les plus menacées de la Tunisie et d'analyser la relation entre ces fortes pluies et les inondations enregistrées.

## 1. Données et méthodes

### 1.1. Les données de bases utilisées sont

Les séries pluviométriques à l'échelle quotidienne de l'Institut National de la Météorologie et du Ministère de l'Agriculture et ce pour les stations météorologiques suivantes : Tunis Manoubia, Meknessy, Sidi Bouzid, Gafsa, Kasserine. (Fig.1)

Notre choix des stations a été guidé, entre autres, par le fait que ces stations représentent cinq villes où le risque d'inondation est considéré important (Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, 1996).

Les informations relatives aux inondations enregistrées dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle, Les sources de ces informations sont :

Les rapports du Ministère d'Agriculture

Les rapports du Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire

La presse nationale depuis le début du siècle

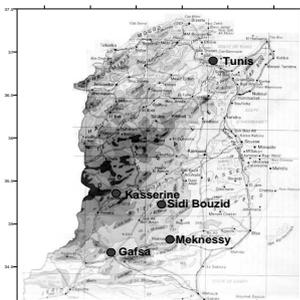


Fig.1 : carte de localisation

Cette dernière source est d'un grand intérêt pour l'étude des inondations. En effet, elle nous permet d'identifier les inondations qu'a connues la Tunisie depuis le début du siècle et d'évaluer leur ampleur.

La période retenue dans cette étude s'étend de 1901 à 2000.

### 1.2. Notre démarche a été la suivante

Nous avons d'abord comptabilisé les jours très pluvieux, Nous considérons comme jours très pluvieux ceux où le cumul journalier dépasse 20 mm (Helaoui, 2002). nous avons répartis en deux classes, les jours à forte pluies où le total journalier est entre 20 et 30 mm et les jours à très fortes pluies où le total journalier dépasse 30 mm.

Dans une deuxième étape, nous avons recensé les séquences très pluvieuses. Nous entendant par séquences très pluvieuses le ou les jours très pluvieux isolés ou successifs.

Nous avons surtout cherché à mettre en rapport les séquences très pluvieuses avec les inondations enregistrées dans les cinq villes retenues.

## **2. Résultats**

### 2.1. Le nombre des jours de pluie extrême

En Tunisie, le nombre annuel moyen des jours de pluie extrême est très faible, il varie entre 0.8 et 2.5 pour les jours à forte pluie et entre 0.5 et 2 pour les jours à très fortes pluies

Il se caractérise aussi par une faible variabilité interannuelle, les coefficients de variation des séries varient entre 0.6 et 1.3 pour les jours à fortes pluies et entre 0.7 et 1.5 pour les jours à très fortes pluies.

A l'échelle saisonnière, nous signalons que les jours à très fortes pluies (plus que 30 mm) ont lieu surtout en automne (en l'occurrence octobre). Alors que l'emplacement du maximum des jours à forte pluie (20 à 30 mm) varie selon les stations, il se localise en hiver à Tunis et à Sidi Bouzid (en janvier et décembre), en automne à Kasserine et Meknessy (en septembre et octobre) et au printemps à Gafsa (en mars). L'été reste partout la saison qui enregistre le minimum des jours très pluvieux, mais ce type de jours n'est pas totalement exclu au cours des mois de cette saison. Nous avons enregistré 16 jours à Tunis (à titre d'exemple les mois de juin de 1906, 1959 et 2000 ont enregistré chacun un jour de très forte pluie), 25 jours à Kasserine (2 jours de très forte pluie en juin 1961 et 1976).

Nous avons ensuite cherché la tendance des nombres annuels des jours de pluies extrêmes. Les résultats obtenus ne permettent pas de déceler une quelconque tendance à la baisse ou à la hausse statistiquement significative pour les stations de Tunis, Meknessy et Kasserine.

Par contre nous signalons une légère tendance à la baisse des jours à très forte pluie (plus que 30 mm) pour la station de Sidi Bouzid. La moyenne mobile (au pas de temps de 5 ans) est passée de 2.5 jours à moins de 1 jours entre 1973 et 2000.

Enfin, une tendance à la hausse est observée à Gafsa pour la série des jours à forte pluie (entre 20 et 30 mm) et à très forte pluie (plus que 30 mm). Les moyennes mobiles des deux séries sont passées respectivement de 1 à 4 jours et de moins d'un jours à plus que 2.5 jours entre 1901 et 2000.

### 2.1. Les séquences des jours très pluvieux

#### 2.1.1. Séquences des jours à fortes pluies (20 à 30 mm)

Le nombre annuel moyen des séquences des jours à forte pluie est modeste : il varie entre 0.8 et 2.3 pour les séquences de 1 jour et entre 0.02 et 0.07 pour les séquences de 2 jours successifs et il est presque nul pour les séquences de 3 jours successifs (sauf pour la station de Kasserine où nous avons enregistré une séquence de 3 jours de plus de 20 mm entre le 12 et 14 avril 1960).

La variabilité interannuelle du nombre de séquences d'un jour isolé est faible (CV de 1.3 à 0.6, mais elle augmente nettement pour les deux autres types, leur CV va de 3.7 à 7.1).

A l'échelle saisonnière, nous constatons que les séquences des jours à fortes pluies ont lieu surtout en automne (en septembre et octobre) et secondairement en hiver (novembre et décembre). L'été

enregistre aussi quelques séquences de jours à fortes pluies surtout à Kasserine où nous avons observé une séquence de 2 jours successifs (juin 1967) avec un cumul de 53 mm.

### 2.1.2. Séquences des jours à très fortes pluies (plus que 30 mm)

Le nombre annuel moyen des séquences des jours à forte pluie est faible. Il varie entre 0.5 et 1.6 pour les séquences d'un jour isolé et entre 0.02 et 0.15 pour les séquences de 2 jours successifs. Ce nombre est excessivement faible pour les séquences de 3 jours successifs.

La variabilité interannuelle du nombre des séquences de 1 jours est faible (CV de 0.1 à 1.5), mais elle s'accroît manifestement pour les deux types de séquences de 2 ou de 3 jours successifs. Le coefficient de variation varie entre 2.7 et 7.5 pour les séquences de 2 jours successifs et dépasse 7.5 pour les séquences de 3 jours successifs

Les séquences de jours à très fortes pluies se manifestent surtout en hiver (janvier) et secondairement en automne (octobre). L'été enregistre aussi quelques séquences des jours à très fortes pluies surtout à Kasserine où nous avons remarqué une séquence de 2 jours successifs (4-5 juin 1961) avec un cumul de 79 mm et 3 jours isolés (août 1987, 1989 et 1990 qui ont donné respectivement 72.3 mm, 30.9 mm et 31.6 mm).

### 2.1.3. Séquences des jours très pluvieux et inondations

Les 2/3 des séquences de jours de pluies successifs d'une durée égale ou supérieure à deux jours ont provoqué des inondations.

Les inondations ont eu lieu surtout en automne et en printemps (Tableau 1), et en troisième position vient l'hiver (inondations de 1990, 1996).

Nous constatons donc que 1/3 des séquences enregistrés n'a pas généré des inondations, malgré leurs cumuls pluviométriques relativement importants (95 mm à Sidi Bouzid, 100 mm à Meknessy, 66.9 mm à Tunis pour la séquence de janvier 1999. En examinant leurs caractéristiques, nous avons pu constater les faits suivants :

Certaines de ces séquences ont été enregistrées en été, saison où l'évaporation est forte et le sol est sec.

Les pluies sont tombées au cours d'averses de longue durée et d'une intensité modérée ce qui favorise l'évacuation de l'eau.

Des ouvrages de protection de certaines villes (Sidi Bouzid après 1990) ont limité le risque.

## **Conclusion**

Avec un caractère orageux et intense des pluies, les villes Tunisiennes connaissent un risque d'inondation important. Toutefois ce risque est fonction des caractéristiques des averses, de la physionomie des séquences de fortes pluies et des ouvrages de protection des villes à risque.

## **Bibliographie**

BENZARTI, Z., HENIA, L., BEN BOUBAKER, H., 2004 : Circulations méridiennes et extrêmes Pluvio-thermiques en Tunisie ; Actes du 17<sup>ème</sup> colloque de l'AIC

HELAOUI, Z., 2002 : Les pluies quotidiennes en Tunisie, Thèse, Faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 582 pages.

HENIA, L., 1993 : Climat et bilans de l'eau en Tunisie, Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques ; publication de l'université de tunis1, 391 pages.

KASSAB, F., 1979 : Les très fortes pluies en Tunisie ; publication de l'université de Tunis, 234 pages

Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire. 1996 : Schéma directeur d'aménagement du territoire national : étude stratégique, livre 2 p 50-105.

OUSLATI, A., 1999 : Les inondations en Tunisie ; édition : Orbis ; 206 pages.

ZAHAR, Y., 1997 : Eléments d'hydrologie pour l'aménagement ; édition la faculté des lettres Manouba , 287 pages.

Tableau 1 : Séquences de jours très pluvieuses qui ont provoquées des inondations

| Dates des séquences | Dégâts  | Station   | Cumul des Pluies (en mm) |       |
|---------------------|---|---|--------------------------|-------|
| 27-28/12/1944       | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Tunis   | 49,7                     |       |
| 27-28/12/1948       | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   |   | 105                      |       |
| 5-6/1/1949          | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Sidi Bouzid   | 66                       |       |
| 21-22/10/1953       | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Tunis   | 104                      |       |
| 21-22/11/1953       | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   |   | 83,9                     |       |
| 28-29/4/1955        | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Sidi Bouzid   | 55                       |       |
| 25-26/9/1956        | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Tunis   | 62                       |       |
| 21-22/4/1957        | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Sidi Bouzid   | 44                       |       |
| 4-5/10/1957         | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   |   | 132                      |       |
| 1-2/10/1961         | 7 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes  | Tunis   | 74,5                     |       |
| 29-30/10/1964       | 28 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Kasserine   | 106                      |       |
| 20-21/11/1967       | Distraction des bâtiments et routes   | Tunis   | 51,8                     |       |
| 25-26/9/1969        | Pertes humaines et économiques très graves<br>(100 milles personnes dont près de 500 morts,<br>centaines de Km de routes,<br>11 Km de voies ferrées,<br>dizaines de milliers d'habitations) | Meknessy  | 195                      |       |
|                     |   | Kasserine   | 172                      |       |
| Sidi Bouzid         |   | 225   |                          |       |
| Kasserine           |   | 134   |                          |       |
| Tunis               |   | 76,6  |                          |       |
| Tunis               |   | 102   |                          |       |
| Kasserine           |   | 110   |                          |       |
| 26-27-28-29/10/1969 |   | 190   |                          |       |
| 27-28-29/10/1969    |   | Sidi Bouzid   | 156                      |       |
| 26-27-28/3/1973     |   | Pertes humaines et économiques très graves<br>(près de 100 morts) | Tunis                    | 104   |
|                     | Sidi Bouzid   |   | 71,5                     |       |
| Gafsa               | 59,9  |   |                          |       |
| Gafsa               | 97,3  |   |                          |       |
| 12-13/12/1973       | Meknessy  |   | 184                      |       |
|                     |   |   | 88,8                     |       |
| 6-7/11/1974         | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   |   | Tunis                    | 44,8  |
| 4-5/2/1975          | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   |   |                          | 99,8  |
| 3-4/11/1975         | 6 morts, 247 personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes  |   |                          | 156,3 |
| 30-31/10/1982       | 70 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes<br>(10000 logements endommagés)   |   |                          | 59    |
| 29-30/9/1986        | 10 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | 105   |                          |       |
| 21-22-23-24/1/1990  | Pertes humaines et économiques très graves<br>(près de 60 morts, 100 millions DT)   | Sidi Bouzid   | 307                      |       |
|                     |   | Kasserine   | 135                      |       |
|                     |   | Meknessy  | 395                      |       |
|                     |   | Gafsa   | 252,4                    |       |
| 21-22/12/1990       | 5 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes  | Sidi Bouzid   | 49                       |       |
| 22-23/12/1990       | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Tunis   | 59,4                     |       |
| 14-15/3/1991        | 3 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes  | Kasserine   | 70,7                     |       |
| 16-17/10/1995       | 2 morts, des personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes  | Meknessy  | 44                       |       |
| 27-28/2/1996        | Personnes sans abris, distraction des bâtiments et routes   | Tunis   | 88,9                     |       |

## MODELISATION DU BILAN RADIATIF ET D'ENERGIE DANS UN CANYON URBAIN A STRASBOURG (PROJET RECLUS)

P.P. KASTENDEUCH<sup>1</sup>, G. NAJJAR<sup>2</sup>, N. RINGENBACH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517 ULP/CNRS), 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg CEDEX, France, E-mail: [kastendeuch@equinoxe.u-strasbg.fr](mailto:kastendeuch@equinoxe.u-strasbg.fr)

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection (UMR 7005 ULP/CNRS) Pole API, B.P. 10413, 67412 Illkirch CEDEX, France, Tel: 03.90.24.45.17, E-mail: [najjar@equinoxe.u-strasbg.fr](mailto:najjar@equinoxe.u-strasbg.fr)

### Résumé

Le modèle LASER/F, développé par notre équipe, permet de simuler les bilans radiatif et d'énergie dans un environnement géométrique complexe. Nous présentons dans cet article une validation de ce modèle dans un canyon urbain à l'aide d'un jeu de données acquis dans le cadre de la campagne expérimentale RECLUS 2002.

**Mots-clés :** bilan radiatif, bilan d'énergie, climatologie urbaine, canyon urbain, modélisation

### Abstract

The LASER/F model, developed by our team, is able to simulate the radiation and energy balance of a complex geometric environment. The aim of the article is to present a validation of the model for an urban canyon with the data acquired during the RECLUS 2002 experimentation.

**Key-words :** radiation balance, energy balance, urban climatology, urban canyon, simulation

### Introduction

Dans les domaines qui ont un lien avec l'environnement (comme l'urbanisme, la climatologie, la santé...), il s'avère de plus en plus nécessaire, de modéliser à échelle fine les échanges d'énergie à l'interface sol-plante-atmosphère afin d'en prévoir les conséquences. A ces échelles, les principales difficultés résultent pour une bonne part de la variété et de la complexité des surfaces rencontrées. En conséquence, simuler le bilan d'énergie avec une résolution spatiale fine, ne peut se faire qu'en reproduisant fidèlement la géométrie et les caractéristiques thermo-physiques de la surface, ainsi que tous les processus d'échange d'énergie qui se déroulent entre ces éléments, par rayonnement ou par flux de chaleur. Le modèle de recherche Latent Sensible Radiative Flux (LASER/F), développé par notre équipe, a été principalement conçu dans ce but.

## 1. Présentation du modèle LASER/F

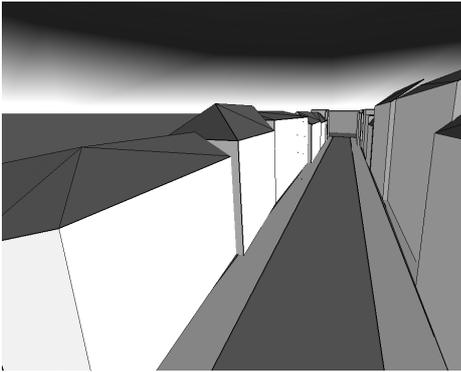


Fig. 1 Le canyon de la rue de l'Argonne à Strasbourg.

Le modèle travaille sur des scènes (Fig 1) qui décrivent l'environnement de surface à l'aide d'une géométrie tridimensionnelle détaillée. Chaque scène contient des objets, qui sont eux-mêmes composés de différentes faces. Chaque face possède ses propres caractéristiques thermo-physiques (réflexivité, émissivité, conductivité, capacité thermique, nombre de couches, épaisseur...) qui peuvent représenter tous les types de matériaux. Le sol est lui-même considéré comme un ensemble d'objets qui peuvent se présenter sous forme de nappe d'eau, d'herbe, de béton...

La position du soleil est connue très précisément à chaque instant de la simulation selon les équations de Reda et Afshin (2003). Les obstacles sur la trajectoire des rayons du soleil sont détectés grâce à un algorithme de « lancé de rayon », ce qui permet de tenir compte des ombres portées qui jouent un rôle très important lorsque la scène est géométriquement complexe. Le rayonnement diffus atmosphérique est considéré comme anisotrope selon le modèle de Perez et al. (1993) et tient compte de la présence des obstacles entre les éléments de la voûte céleste et les éléments de surface. Par contre le rayonnement infrarouge atmosphérique est considéré comme isotrope et simplement évalué en fonction du sky view factor. L'énergie échangée par les objets dans le visible et dans l'infrarouge par les multiples réflexions est calculée en utilisant un algorithme de radiosité progressive qui s'arrête lorsque l'énergie maximum restant à échanger entre les éléments dans toute la scène ne dépasse pas un seuil fixé à  $1 \text{ Wm}^{-2}$ . La conduction de la chaleur dans les matériaux multicouches se fait en régime transitoire. C'est à l'aide de ces équations que l'on obtient l'énergie stockée dans les matériaux ainsi que le flux de chaleur dans le sol. Le flux de chaleur sensible est estimé en première approximation selon les équations de Al Sanea (2002) et le flux de chaleur latente pour les surfaces végétales et/ou d'eau est calculé selon l'équation bien connue de Penman-Monteith. L'ensemble de ces flux permet d'évaluer la température de surface des objets en résolvant l'équation du bilan d'énergie par une méthode implicite itérative jusqu'à la convergence des températures de surface (critère :  $\Delta T_s < 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$  dans toute la scène).

Une simulation nécessite les données d'entrée suivantes : la géométrie, les propriétés radiatives des revêtements (émissivité, réflectivité...), les caractéristiques internes des matériaux (épaisseurs, conductivité...), une température de surface au début de la simulation (cette température est spatialisée de manière homogène lors de l'initialisation). Pour chaque pas de temps, il faut ensuite fournir les données de référence suivantes : le rayonnement direct sur une surface horizontale, le diffus atmosphérique, l'infrarouge atmosphérique, la température de l'air extérieur, la température de l'air dans les bâtiments, l'humidité relative extérieure, la vitesse du vent.

## 2. Résultats

Le modèle a été utilisé pour simuler les échanges d'énergie dans un canyon urbain de l'agglomération strasbourgeoise (France, 450000 habitants). Les données nécessaires à la validation du modèle proviennent d'une campagne de mesures menée en 2002 dans le cadre du programme de recherche RECLUS (Najjar et al., 2004). Le pas de temps de la simulation est le  $\frac{1}{4}$  d'heure pour deux journées : le 14 août 2002 avec quelques passages nuageux et le 15 août 2002 pour une très belle journée sans nuages.

### 2.1 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire simulé pour un capteur fictif horizontal placé au milieu du canyon (11.7 m au-dessus du sol), et dont l'emplacement correspond à celui d'un capteur réel, est présenté dans la

figure 2 pour la journée du 15 août 2002. Le rayonnement incident simulé est en parfait accord avec le rayonnement observé et s'élève en milieu de journée à  $800 \text{ W/m}^2$ . Le phénomène de masque du matin et du soir est totalement respecté. Le rayonnement réfléchi dans le canyon est également très bien simulé par le modèle. Ces résultats permettent de valider plusieurs de nos algorithmes, dont ceux : de calcul de la position du soleil, de détection d'obstacle, de calcul du diffus anisotrope ainsi que celui de l'échange d'énergie par radiativité progressive dans le visible.

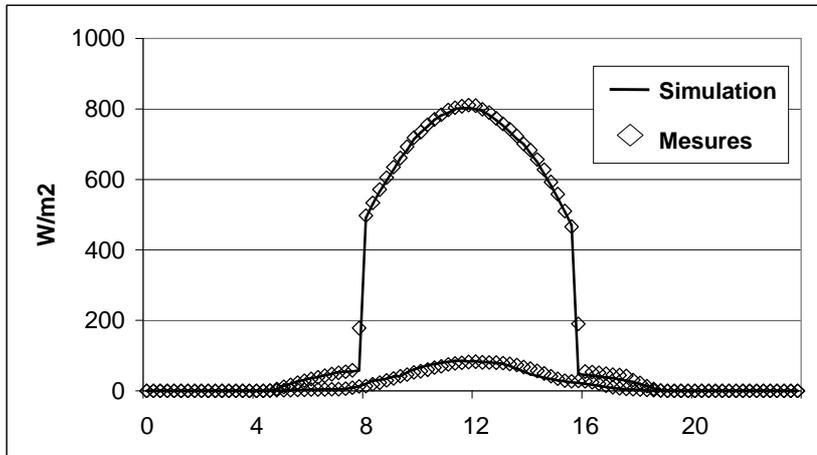


Figure 2. Le rayonnement solaire incident et réfléchi pour un capteur horizontal.

## 2.2 Le rayonnement infrarouge

La validation du rayonnement infrarouge s'est faite dans les mêmes conditions que celles du visible. La figure 3 présente les résultats pour la journée du 14 août. La simulation surestime légèrement le rayonnement infrarouge reçu sur la face supérieure d'un capteur horizontal. L'écart moyen est de  $6.5 \text{ W/m}^2$  et au maximum de  $16.2 \text{ W/m}^2$ . Cela provient peut-être du fait que la simulation ne tient pas compte des ouvertures plus fraîches des fenêtres dans les façades. Il est à noter que ce rayonnement infrarouge s'élève au maximum à  $400 \text{ W/m}^2$  et que les fluctuations entre 0 et 4 heures du matin sont dues au passage d'un système nuageux nocturne.

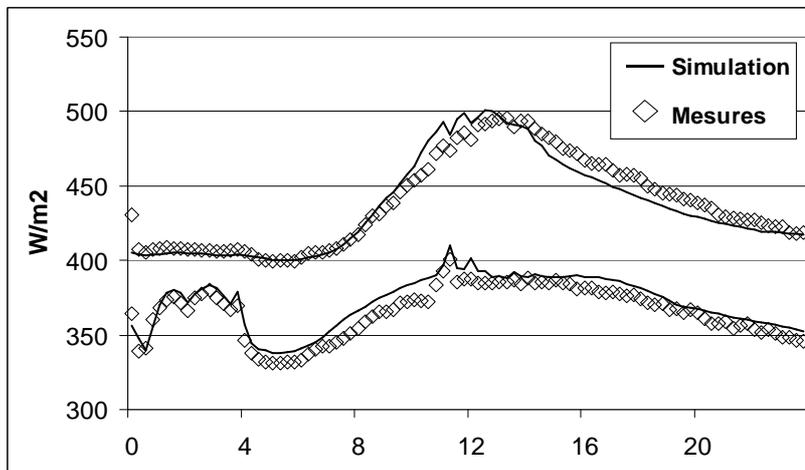


Figure 3. Le rayonnement infrarouge des faces supérieure et inférieure d'un capteur horizontal.

Le rayonnement infrarouge reçu sur la face inférieure est en très bon accord avec les mesures nocturnes. Cependant des écarts apparaissent en milieu de journée et en début de nuit : l'écart moyen est de  $2 \text{ W/m}^2$  et au maximum de  $19.4 \text{ W/m}^2$ . Ces résultats prouvent que les températures de surface diurne du fond du canyon sont en léger déphasage et ne remettent pas en cause la validité des algorithmes d'échange d'énergie par rayonnement infrarouge.

### 2.3 Les flux de chaleur

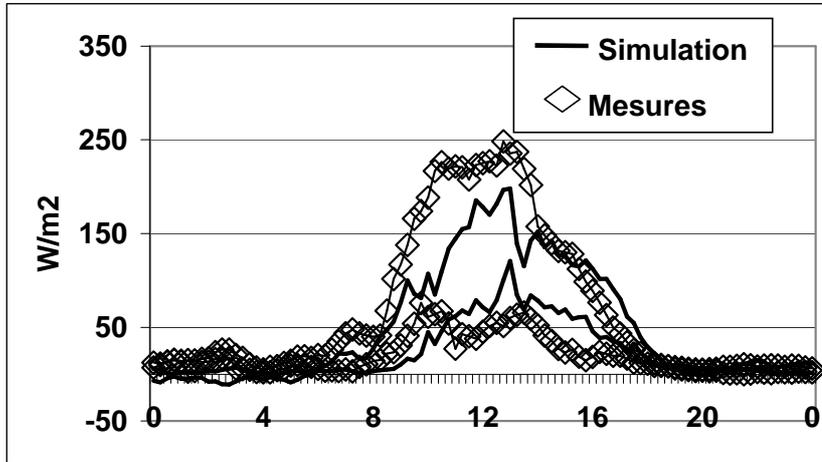


Figure 4. Les flux de chaleur au sommet du canyon.

Les flux de chaleur au sommet du canyon pour la journée du 14 août (Figure 4) montrent des différences significatives entre les observations (moyennes mobiles) et la simulation, en raison des nombreuses approximations et simplifications introduites dans les équations de transfert convectif. Le flux de chaleur sensible notamment n'est pas suffisamment fort en début de matinée.

### **Conclusion**

Nous disposons d'un modèle permettant de calculer les différentes composantes du bilan d'énergie dans un environnement complexe. Si les algorithmes de calcul radiatifs apparaissent robustes, comme le démontre cet article, il reste encore à perfectionner les flux de chaleur latente et sensible pour fiabiliser le modèle.

### **Références**

- AL-SANEH S. A., 2002: Thermal performance of building roof elements. *Building and Environment*, V. 37, 7, pp 665-675.
- NAJJAR G., KASTENDEUCH P. P., STOLL M.-P., COLIN J.-R., NERRY F., RINGENBACH N., BERNARD J., DE HATTEN A., LUHAHE R., VIVILLE D., 2004: Le projet Reclus, Télédétection, rayonnement et bilan d'énergie en climatologie urbaine à Strasbourg, *La Météorologie*, 46, pp. 44-50.
- PEREZ, R., R. SEALS AND J. MICHALSKY, 1993: An All-Weather Model for Sky Luminance Distribution -- A Preliminary Configuration and Validation. *Solar Energy* 50, 3, pp. 235-245.
- Reda I, Afshin A, 2003 : Solar position algorithm for solar radiation applications. *Solar Energy*, 76, pp. 577-589.
- RINGENBACH N, 2004 : Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg. Thèse de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 166 p.

# SPATIALISATION DE LA BRISE DE MER DANS L'AGGLOMERATION DE SFAX (TUNISIE) ET IMPACT SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

DAHECH S. et BELTRANDO G.

Université Denis Diderot (Paris VII), UMR 8586 (PRODIG) du CNRS, (c.c. 7001)  
2, place Jussieu 75251 Paris Cedex 05 [salem.dahech@paris7.jussieu.fr](mailto:salem.dahech@paris7.jussieu.fr) [beltrando@paris7.jussieu.fr](mailto:beltrando@paris7.jussieu.fr)

## Résumé

Le présent travail étudie la circulation de la brise de mer dans l'agglomération de Sfax ainsi que sa relation avec la répartition spatiale du taux de CO dans l'air. Les mesures itinérantes du CO et du vent, montrent que les taux les plus élevés sont enregistrés près de la Z.I. Sud pendant la période de la renverse nocturne de la brise. Dans le centre-ville, les taux de CO deviennent élevés autant que le trafic s'intensifie et que la vitesse de la brise s'affaiblit.

**Mots clés :** Monoxyde de carbone (CO), Sfax, brise littorale, pollution atmosphérique.

**Abstract:** In this paper we study sea breeze circulation in the agglomeration of Sfax and its impact on CO rate distribution. CO and wind itinerant measurements show that the highest rates are recorded near the southern Z.I. during the period of the breeze night shift. In the downtown area, the CO rates become high as much as the traffic intensifies and the breeze speed weakens.

**Key-words :** Carbon monoxide (CO), Sfax, sea breeze, atmospheric pollution.

## Introduction

A Sfax, dans le sud-est tunisien (34°N, 10°E), l'étude de la brise littorale est d'une importance majeure en raison de son impact sur la répartition spatio-temporelle de la pollution atmosphérique. Celle-ci est en grande partie originaire de la frange littorale où sont regroupés plus de 90% des établissements industriels de l'agglomération qui compte environ 500 000 habitants. C'est aussi près du littoral que se trouve le centre-ville (médina et quartier européen), vers lequel convergent les principaux axes de circulation qui enregistrent un fort trafic routier (mouvements pendulaires) (fig. 1). L'objectif du présent travail est de spatialiser la circulation de la brise littorale dans l'agglomération à différentes échelles et de cerner son impact sur la répartition spatio-temporelle d'un polluant atmosphérique, le CO.

### 1. Données et méthodes

Dans l'agglomération de Sfax, le vent (direction et vitesse) n'est enregistré régulièrement que dans la station de Sfax-el-Maou de l'Institut National de la Météorologie (INM), située dans l'enceinte de l'aérodrome. Quant au suivi régulier de la qualité de l'air, il a débuté à la fin de l'année 1996 dans la station de l'Agence Nationale de la Protection de l'Environnement (ANPE) installée au centre-ville. En raison de l'absence d'un réseau de mesures fixes, des mesures itinérantes se sont avérées adéquates pour spatialiser la brise de mer et le taux de CO. La mesure de la pollution atmosphérique dans un milieu urbain reste complexe et elle demande un matériel souvent coûteux, cette étude ne concerne que le monoxyde de carbone (CO). Ce polluant a été choisi pour trois raisons : d'abord, parce qu'il est considéré comme un polluant dangereux (AIRPARIF, 2000), ensuite parce que sa mesure avec des capteurs portables est relativement facile et enfin parce que c'est un traceur d'autres polluants de proximité émis en milieu urbain (Wahlin & al, 2001).

Les mesures météorologiques (température, humidité, vitesse et direction du vent) sont réalisées avec des stations portatives « Testo » et le CO avec des capteurs portables de type Fluke CO 210 étalonnés avant utilisation. Ces mesures ont été réalisées simultanément par trois équipes de deux personnes se déplaçant à pied ou en moto pour limiter les pertes de temps entre deux points de mesures. Les itinéraires de mesures (vent et CO) ont été choisis de façon à couvrir les principaux axes de circulation de l'agglomération et du quartier européen dans le centre-ville. Les mesures sont

prises sur le trottoir à 2 m de la chaussée (moyenne sur deux minutes en évitant le passage de camions). Elles sont effectuées durant les situations de la renverse nocturne et matinale de la brise et au milieu de la journée afin de cerner la variabilité spatio-temporelle du polluant étudié.

## 2. La brise marine à l'échelle de l'agglomération

Le traitement des données météorologiques tri-horaires enregistrées à la station Sfax-el-Maou sur la période 1970-2002, ainsi que les anémogrammes de Institut National de la Météorologie, montrent que 35,5% des jours de l'année sont marqués par la présence d'une alternance entre brise de terre et brise de mer (74% en été, 14% en hiver) (Dahech, thèse en cours). La spatialisation de la brise de mer dans l'agglomération met en évidence l'influence de la morphologie de la ville. Des vitesses autour de 6 m/s sont observées en bord de mer vers 15h. Cependant, dans le centre-ville et dans les quartiers densément construits, la vitesse du vent est freinée par l'importante rugosité du substrat (inférieure à 3m/s), alors qu'elle est pratiquement nulle dans la médina, entourée de remparts et aux rues étroites. Schématiquement, la vitesse de la brise augmente du centre-ville vers la grande banlieue à l'ouest où le tissu urbain devient de moins en moins continu (vitesse autour de 5m/s). La vitesse de la brise dépend aussi de l'altitude du site de mesure, ainsi elle s'élève au-dessus des ponts et s'affaiblit au fond des oueds orientés perpendiculairement à la direction de la brise (fig.1B).

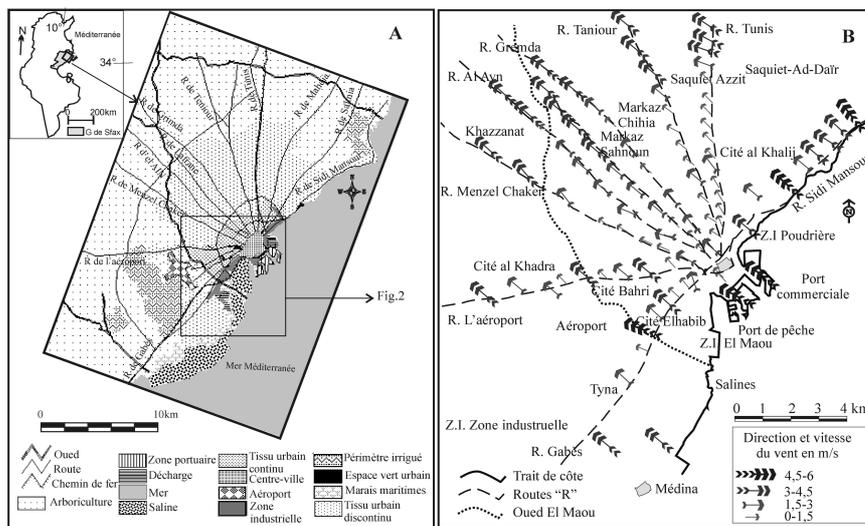


Figure 1 : Occupation du sol obtenue à partir du traitement d'une image SPOT prise en mai 2000 (A) et écoulement de la brise de mer dans l'agglomération de Sfax en situation anticyclonique estivale (mesures itinérantes réalisées le 9/08/04 entre 15h et 16h)

## 3. Impact de la brise de mer sur la répartition spatio-temporelle du CO

Le matin, vers 7h, la brise de terre disparaît et celle de mer commence à s'installer, c'est la période de renverse matinale. Elle se caractérise par un vent faible de 1 m/s en moyenne et de direction N à NNE. Ce vent oriente les panaches de fumées vers les quartiers de la route de Gabès (El Badrani et El Moez). Des taux de CO autour de 15 ppm sont enregistrés dans ces quartiers, ils sont plus élevés dans le premier qui est plus proche de l'usine de traitement des phosphates (SIAPE) et de la décharge municipale mitoyenne. A proximité de ces établissements, les taux de CO avoisinent les 25 ppm. Dans le centre-ville, le pic matinal estival, entre 7 et 8h, correspond à l'heure des déplacements domicile-travail. Les taux les plus élevés sont enregistrés au niveau des principaux carrefours, ils sont compris entre 5 et 10 ppm (fig.10 A).

- A 14 h, les taux de CO les plus élevés sont observés à proximité de l'usine des traitement des phosphates sous les panaches des polluants, mais ils diminuent rapidement au fur et à mesure qu'on s'en éloigne (fig.2B). Dans le centre-ville, le trafic est dense (l'heure de la mesure correspond à la

sortie du travail en été), les taux de CO enregistrés varient entre 5 et 3 ppm. En se dirigeant vers la campagne le trafic devient plus fluide (cause principale de la baisse du taux de CO), la vitesse de la brise augmente (fig.1B) et une baisse des taux de CO est remarquée (Valeurs inférieures à 1 ppm vers 10 km du centre-ville).

Juste après le coucher du soleil, une déviation de la brise de mer se fait dans le sens anticyclonique. Entre 21 et 23h, la brise souffle du SSW avec une vitesse très faible variant entre 0,5 et 1 m/s. Elle dirige les fumées de la Z.I. Sud vers le centre-ville et la partie est des quartiers populaires très denses de Sfax El Garbia comme cité El Habib. A cette heure là (nuit), la concentration des polluants est très élevée en raison de la faiblesse de la vitesse du vent et de la hauteur réduite de la couche limite (Oke, 1987). Les taux de CO, à proximité de la SIAPE et de la décharge voisine, dépassent 40 ppm, soit une valeur au-dessus des seuils préconisés par l'OMS (25 ppm pour une durée d'exposition de 1 heure) car la durée de l'épisode de renverse peut durer plusieurs dizaines de mn certains jours. Dans le centre-ville, malgré un trafic fluide, les taux de CO relevés côtoient 15 ppm (fig.2D). La rose du CO, élaborée à partir des données horaires issues de la station de l'ANPE en situation de brise, confirme ce résultat. Elle montre que les vents faibles du SSW sont les plus chargés en éléments polluants (fig.2E).

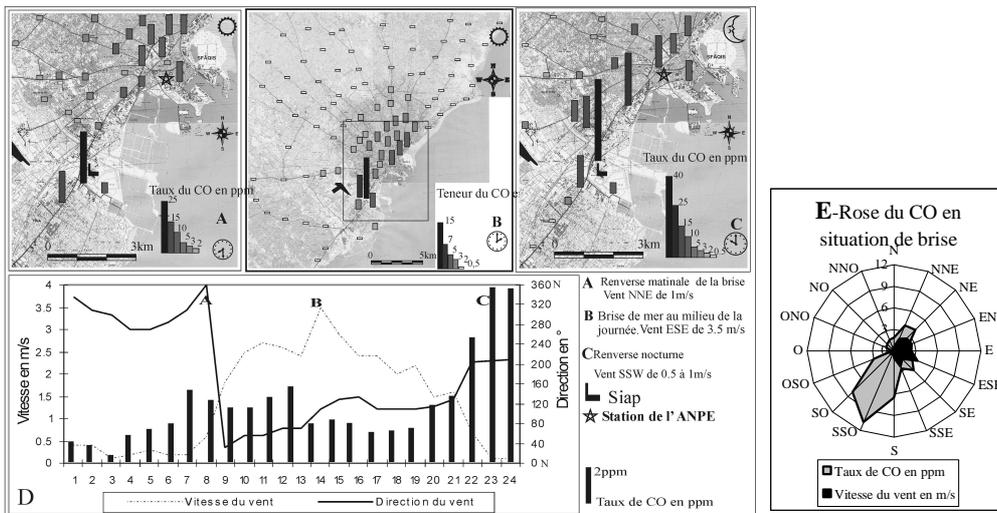


Figure 2 : Variabilité spatio-temporelle de la répartition du CO au centre et au sud de l'agglomération de Sfax le 12/08/2004 à 8h :30 (A), 14h (B) et à 22h (C) et variabilité quotidienne de la vitesse et la direction du vent et du CO à la station de l'ANPE (D)

#### 4. La brise marine et le CO à l'échelle du quartier du centre-ville moderne

Le plan en damier du centre-ville moderne favorise la ventilation : dans les rues larges, canalisées et orientées dans le sens de la brise (effet Venturi), la vitesse du vent s'élève à 4 m/s (durée de la mesure 2 mn) avec un taux d'humidité relativement élevé et une baisse sensible des températures et des taux de CO (cas de l'avenue Hédi Chaker). La vitesse de la brise de mer est aussi très faible dans les rues étroites et orientées parallèlement à la côte comme l'avenue Habib Bourguiba où la dispersion des polluants dans l'atmosphère est plus difficile (fig. 3A). Une variabilité importante du taux de CO est remarquée à l'échelle de la rue. Les facteurs intervenant sont l'intensité du trafic automobile et la vitesse de la brise de mer qui dépend elle-même de la morphologie de la rue (hauteur du bâti, présence d'arbre, largeur de la rue, régime de circulation...). Ainsi, vers midi, dans la rue Haffouz, le taux de CO est de 0.5 ppm près du port commercial où la brise souffle à une vitesse de 4.5 m/s et le trafic est relativement fluide. Il atteint 8 ppm à l'autre bout de la rue (près de l'immeuble Intilaka) où la brise est freinée par la surface (1.5 m/s) et le trafic est plus dense (fig. 3B).

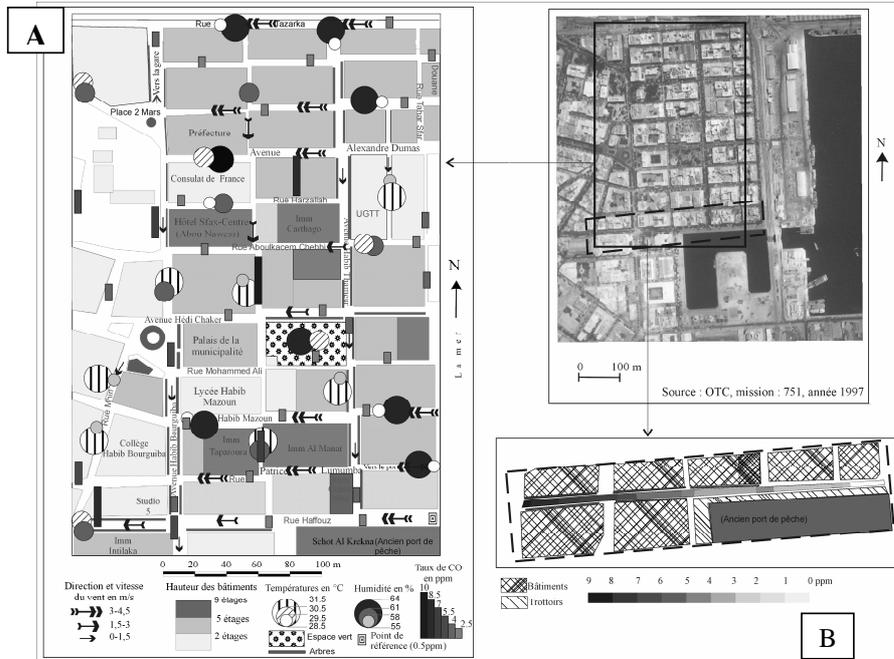


Figure 3 : Spatialisation de la brise de mer et du CO à l'échelle du quartier moderne du centre-ville (A) et de la rue Haffouz (B) le 12/8/2004 entre 12h et 12h 30mn

## Conclusion

A Sfax, en situation de brise de mer, le CO se caractérise par une variabilité spatio-temporelle importante. Les taux les plus élevés sont observés en situation de renverse de brise notamment la nuit. Durant cet épisode, les taux relevés à proximité de l'usine du traitement des phosphates dépassent les normes recommandées par l'OMS. Dans le quartier du centre-ville moderne, outre le trafic automobile, le plan des rues et la brise marine commandent la variabilité spatiale du CO. Au milieu de la journée, les conditions du trafic expliquent la hausse des taux de CO au centre-ville par rapport à la campagne avoisinante.

## Bibliographie

AIR PAIF, 2000 : Surveillance de la qualité de l'air. *Rapport d'activité*, 128p.

OKE, T.R., 1987: *Boundary Layer Climate*. Deuxième édition, Methuen, London and New York, 435 pages.

WAHLIN P., PALMGREN F. and VAN DINGENEN R., 2001: Experimental studies of ultra fine particles in streets and the relationship to traffic. *Atmospheric Environment*, 35, 63-69.

## DYNAMIQUE DE LA VEGETATION EN RELATION AVEC LA TEMPERATURE DANS L'AGGLOMERATION RENNAISE

MIMET A.<sup>1</sup>, DUBREUIL V.<sup>2</sup>, QUENOL H.<sup>2</sup>, ROZE F.<sup>1</sup>, CLERGEAU P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ECOBIO UMR 6553 et FR 2116 CAREN - CNRS, Université Rennes 1, [anne.mimet@wanadoo.fr](mailto:anne.mimet@wanadoo.fr)  
[francoise.roze@univ-rennes1.fr](mailto:francoise.roze@univ-rennes1.fr)

<sup>2</sup> COSTEL UMR 6554 LETG et FR 2116 CAREN - CNRS, Université Rennes 2, [vincent.dubreuil@uhb.fr](mailto:vincent.dubreuil@uhb.fr)  
[olivier.planchon@uhb.fr](mailto:olivier.planchon@uhb.fr) [herve.quenol@uhb.fr](mailto:herve.quenol@uhb.fr)

<sup>3</sup> INRA-SCRIBE (Gestion des Populations Invasives), Université Rennes 1, [philippe.clergeau@rennes.inra.fr](mailto:philippe.clergeau@rennes.inra.fr)

### Résumé

Le réseau de stations météorologiques ECORURB installé sur la ville de Rennes et sa périphérie permet de mettre en évidence les propriétés temporelles et spatiales de l'îlot de chaleur urbain. Une étude phénologique menée conjointement sur les platanes (*Platanus acerifolia*) montre que l'observation des stades d'avancement des arbres entre le centre ville et la périphérie corrobore les mesures climatiques.

**Mots clés :** îlot de chaleur urbain, stades phénologiques, mesures, cartographie.

### Abstract

A high resolution climatological network allowed to evidence spatial and temporal properties of the Urban Heat Island in Rennes, France. In the same time, a phenological study has been drawn on *Platanus acerifolia* : the results show a good agreement between climate and biological data especially the rural/urban gradient.

**Key words :** Urban Heat Island, phenological state, measurements, cartography.

### Introduction

L'extension considérable des espaces urbanisés durant le 20<sup>ème</sup> siècle a eu des effets climatiques sensibles à l'échelle locale, voire régionale pour les plus grandes agglomérations. Ces effets climatiques sont surtout thermiques : les conditions radiatives propres aux états de surface urbains (bâti et couverture du sol) favorisent la mise en place d'un *Ilot de Chaleur Urbain* (ICU). Les caractéristiques de l'ICU sont fonction de l'absorption du rayonnement solaire par les matériaux pendant la journée et de sa lente restitution sous forme de chaleur sensible durant la nuit, les phénomènes évapotranspiratoires étant réduits en ville par rapport à la campagne environnante (Carrega, 1994 ; Bridier, 2002). Les transitions climatiques d'échelles fines entre le centre-ville et les espaces ruraux périphériques ne peuvent être cernées et éventuellement cartographiées que si un réseau suffisamment dense de postes de mesures existe dans et autour de l'agglomération étudiée.

Dans le cadre du programme de recherche ECORURB (Ecologie à l'interface Rural-Urbain), 16 stations météorologiques complètes (température, taux d'humidité relative, vent, pluviométrie, pression) Weather Monitor 2 ont été réparties dans l'agglomération rennaise et sa campagne périphérique. Ces stations ont été installées, d'une part, afin de quadriller le mieux possible l'agglomération et d'autre part, pour mettre en évidence la relation entre les variations climatiques et les caractéristiques environnementales (substrat, type de couvert,...). Parallèlement, des observations phénologiques sont menées à proximité des différents postes météorologiques. Tout au long du développement printanier du platane (*Platanus acerifolia*), des observations sur des bourgeons sont réalisées afin d'établir la relation entre les paramètres météorologiques et les l'anticipation des déclenchements phénologiques de cette espèce en ville. L'ensemble des mesures (météorologiques et biologiques) permet de réaliser une cartographie exhaustive des températures et de l'avancée phénologique des platanes sur l'agglomération rennaise. L'objectif est donc de mettre en évidence le gradient climatique ville-campagne à Rennes, d'étudier de quelle façon celui-ci se module dans l'espace et dans le temps, en fonction de la morphologie urbaine et des situations

météorologiques, tout en proposant une analyse des effets de ces variations climatiques sur le développement phénologique végétal.

## 1 Données et méthode

### 1.1 Le réseau météorologique ECORURB

Pour étudier l'îlot de chaleur urbain, le réseau d'observation classique (Météo France) est insuffisant. Il faut donc installer un réseau de mesure spécifique. Le coût des stations météorologiques et la disponibilité de sites appropriés limitent la possibilité d'installation de nombreux points de mesures. Le réseau météorologique ECORURB est composé de stations météorologiques Weather Monitor 2 équipées de capteurs hygrométriques, de température, de vent, de pression et de pluviométrie. Elles sont au nombre de 16, réparties sur l'ensemble de la ville, jusqu'en zone périurbaine (fig 1). Les données météo utilisées couvrent la période de janvier 2004 à mai 2005.

Pour multiplier le nombre de points de mesures, des mesures thermiques itinérantes ont été réalisées en installant une sonde dans un abri sur une voiture et en suivant un itinéraire adéquat et certaines précautions. La sonde doit être suffisamment au-dessus de la voiture pour ne pas subir le rayonnement propre du véhicule. La vitesse de déplacement ne doit pas être trop importante pour permettre à la sonde de mesurer effectivement la température de l'air ambiant. Enfin, la durée de chaque transect ne doit pas être trop longue pour que les mesures ne soient pas le reflet des variations synoptiques ou diurnes de la température. Les campagnes ont été menées de nuit pour éviter le biais causé par le rayonnement solaire, période qui correspond en outre au moment où l'îlot de chaleur urbain est le plus marqué.

### 1.2 Expérimentations biologiques

Le platane, *Platanus acerifolia* est présent sur l'ensemble de la ville, dans des milieux structurellement très proches les uns des autres, le plus souvent en alignement le long des rues. Les arbres échantillonnés ont été choisis suivant des critères d'âge : ils ont tous au moins trente ans et ont atteint leur maturité sexuelle. Ce facteur peut provoquer un biais au niveau phénologique.

Le prélèvement des rameaux est effectué à environ 4m de hauteur, à l'aide d'un écheloir.

Deux types de relevés phénologiques ont été réalisés :

- Des prélèvements une à deux fois par semaine sur un gradient urbain constitué de 6 stations (Centre, Villejean, Maurepas, Bréquigny, Beaulieu, Longchamps) : 3 à 4 arbres sont échantillonnés par station, en fonction du nombre d'arbres disponibles, mais aussi de leur accessibilité. En tout, 4 rameaux sont prélevés à chaque campagne par station. Ces relevés permettent un suivi temporel de l'avancement phénologique sur le gradient.
- Deux campagnes de prélèvement sur 18 stations couvrant l'étendue de la ville ont été exécutées. Elles ont pour but la réalisation d'une cartographie des différences phénologiques observées sur l'ensemble de la ville à un moment donné.

L'état phénologique de chaque bourgeon est mesuré à l'aide de 9 variables (tab 1) :

| Fermé          | BG              | BFe   | BF  | Fe             | CGS+Fe                     | CMF                            | CF               | FF            |
|----------------|-----------------|---|---|----------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------|
| Bourgeon fermé | Bourgeon gonflé | Bourgeon identifiable comme bourgeon foliaire | Bourgeon identifiable comme bourgeon floral | Feuille sortie | Feuille et capitule sortis | Capitule en cours de floraison | Capitule fleurit | Capitule fané |

Tab 1 : Correspondances entre les abréviations et leur signification phénologique.

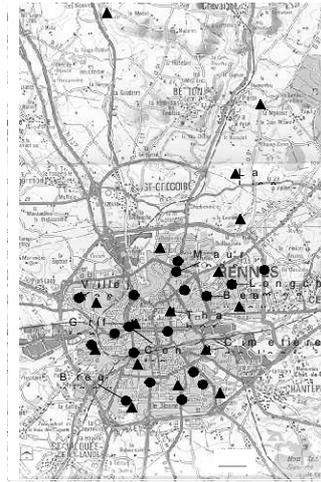


Fig 1 : Stations expérimentales

1 km

Le pourcentage de chaque stade phénologique est ensuite calculé par rameaux.

Ces données sont traitées par ANOVA couplées à des tests deux à deux de Tukey. Elles permettent de mettre en évidence les variables phénologiques distinguant les stations à chaque date de relevé.

## 2 Résultats

Le réseau de stations météorologiques ECORURB met en évidence la présence d'un îlot de chaleur urbain sur Rennes. Les différences thermiques entre la ville et la campagne sont présentes jour et nuit et par tous types de temps (perturbé, calme). Toutefois, l'intensité de la différence de température ville/campagne varie à l'échelle nyctémérale et suivant le type de temps. En effet, l'écart thermique est plus important la nuit en situation anticyclonique, c'est-à-dire par temps calme avec un ciel clair et un vent faible. En hiver, l'écart moyen nocturne des températures minimales est 1,5°C alors qu'en été, il atteint 2°C.

L'analyse des écarts moyens calculés sur les stations Griffon (centre ville), Thabor (parc en centre ville), Cimetière de l'Est (sud-est de la ville) et La Lice (campagne) montre que les températures maximales et minimales sont plus élevées au centre et au sud-est de la ville (tab. 2).

Les résultats des campagnes de mesures itinérantes (capteurs disposés sur des véhicules) confirment les relevés des stations fixes (fig.3 a et b). Les mesures instantanées définissent à échelle plus fine la structure de l'ICU.

|         | Griffon/La Lice |       | Thabor/La Lice |      | Cim Est/La Lice |      |
|---------|-----------------|-------|----------------|------|-----------------|------|
|         | Tmin            | Tmax  | Tmin           | Tmax | Tmin            | Tmax |
| avr-04  | *               | *     | 1.46           | 0.14 | *               | *    |
| mai-04  | *               | *     | 1.62           | 1.30 | *               | *    |
| juin-04 | *               | *     | 1.91           | 1.00 | *               | *    |
| juil-04 | 1.91            | 0.11  | 1.53           | 1.09 | 1.97            | 0.72 |
| août-04 | 1.56            | 0.37  | 1.28           | 0.72 | 1.55            | 0.67 |
| sept-04 | *               | *     | 1.42           | 1.08 | 1.80            | 0.62 |
| oct-04  | 1.61            | -0.04 | 1.05           | 0.46 | 1.13            | 0.30 |
| nov-04  | 1.70            | 0.20  | 1.23           | 0.64 | 1.28            | 0.33 |
| déc-04  | 1.46            | 0.21  | 1.03           | 0.49 | 1.03            | 0.25 |
| janv-05 | 1.15            | 0.25  | 0.69           | 0.51 | 0.83            | 0.34 |
| févr-05 | 1.63            | 0.35  | 1.13           | 1.00 | 1.19            | 0.46 |

Tab 2 : Ecarts moyens des températures *minimales* et maximales.

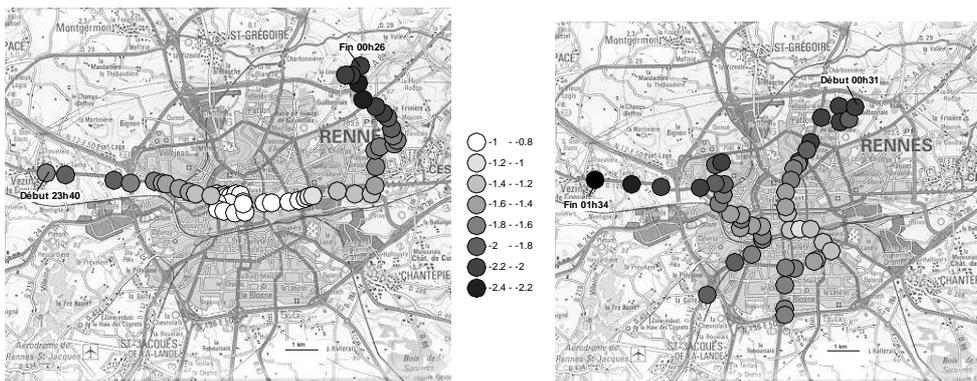


Fig 3 : Mesures itinérantes de la température instantanée la nuit du 27 au 28 février 2005 :

- itinéraire ouest-est.
- itinéraires nord-sud.

Parallèlement à l'étude climatique, l'observation phénologique des platanes est suivie du débourrement des bourgeons à la floraison. Les différences entre les stations s'estompent avec l'avancée dans la saison. En effet, les trois dernières dates de relevé ne montrent pas de différences phénologiques significatives entre les sites de mesure. La station du centre ville marque les plus grands écarts phénologiques, aussi bien dans le temps que pour le nombre de variables la différenciant : elle conserve un avancement significatif durant les quatre premières dates. La station de Villejean suit la station du centre et se distingue des stations périphériques dès la seconde date. La station de Maurepas se différencie le 8 avril par son abondance de bourgeons floraux par rapport

au centre, à Beaulieu et à Villejean, qui ont déjà dépassés ce stade. En revanche, la station des Longchamps se comporte de façon similaire à Maurepas, malgré son éloignement du centre (tab. 3). Ces résultats concordent bien avec les données climatologiques : le nord de la ville, plus froid que les autres zones périphériques, ne favorise pas de déclenchement phénologique anticipé. La station Villejean est la plus proche du centre-ville : elle est plus fortement soumise à l'ICU et subit une avancée des stades phénologiques. Les stations Bréquigny et Beaulieu, situées à des distances approximativement équivalentes du centre, sont localisées à l'ouest et au sud, et présentent les mêmes caractéristiques phénologiques. Les relevés effectués le 8 avril mettent en évidence une forte variabilité spatio-temporelle de l'avancement phénologique entre les stations.

|        |            | Villejean               | Bréquigny          | Maurepas                | Beaulieu           | Longchamps         |
|--------|------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| 01-avr | Centre     | BG - CGS+Fe<br>CMF - CF | CGS+Fe<br>CMF - CF | BF - CGS+Fe<br>CMF - CF | CGS+Fe<br>CMF - CF | CGS+Fe<br>CMF - CF |
|        | Villejean  | *                       |                    | BF                      |                    |                    |
|        | Bréquigny  |                         | *                  |                         |                    |                    |
|        | Maurepas   | *                       | *                  | *                       | BF                 |                    |
|        | beaulieu   | *                       | *                  | *                       | *                  |                    |
|        | Longchamps | *                       | *                  | *                       | *                  | *                  |
| 04-avr | Centre     |                         | BF                 |                         | CGS+Fe             | CGS+Fe             |
|        | Villejean  | *                       | BF - CGS+Fe        | CGS+Fe                  | CGS+Fe             | BG - CGS+Fe        |
|        | Bréquigny  | *                       | *                  |                         |                    |                    |
|        | Maurepas   | *                       | *                  | *                       |                    |                    |
|        | beaulieu   | *                       | *                  | *                       | *                  |                    |
|        | Longchamps | *                       | *                  | *                       | *                  | *                  |
| 08-avr | Centre     | CMF                     | CF                 | BF - CF                 | CF                 | CF                 |
|        | Villejean  | *                       |                    | CMF - BF                | CMF                | CMF                |
|        | Bréquigny  | *                       | *                  |                         |                    |                    |
|        | Maurepas   | *                       | *                  | *                       | BF                 |                    |
|        | beaulieu   | *                       | *                  | *                       | *                  |                    |
|        | Longchamps | *                       | *                  | *                       | *                  | *                  |
| 13-avr | Centre     | CF - FF                 | BG - CF - FF       | FF                      | CF - FF            | CF - FF            |
|        | Villejean  | *                       | BG                 |                         |                    |                    |
|        | Bréquigny  | *                       | *                  |                         | BG                 |                    |
|        | Maurepas   | *                       | *                  | *                       | *                  |                    |
|        | beaulieu   | *                       | *                  | *                       | *                  |                    |
|        | Longchamps | *                       | *                  | *                       | *                  | *                  |

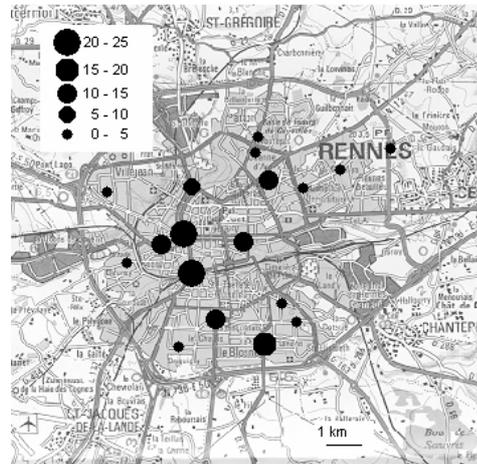


Fig 4 : Pourcentage de capitules fleuris le 8 avril 2004.

Tab 3: Détail des variables phénologiques différenciant significativement les stations.

## Conclusion

Les résultats mettent en évidence une forte variabilité spatio-temporelle de la température et de la phénologie à l'échelle de la ville de Rennes : les températures les plus élevées ainsi que les stades phénologiques les plus avancés sont observées au centre et au sud-est de l'agglomération. Une étude de la corrélation entre les variables phénologiques et climatologiques permettra d'affirmer ou d'infirmer cette tendance.

## Références bibliographiques

- OKE T.R. 1987. Boundary layer climates. *University Press*, Cambridge.
- CARREGA P. 1994. Topoclimatologie et habitat. Thèse de Doctorat, Revue de Géographie du Laboratoire d'Analyse Spatiale Raoul Blanchard (Université de Nice Sophia-Antipolis)
- BRIDIER S., 2001 : *Modélisation de la répartition des brises et des températures en situation radiative*. Thèse de doctorat de l'université Denis Diderot (Paris 7), 178p.
- CHMIELEWSKI F-M, ROTZER T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and forest meteorology*. 108. 101-112.
- ROETZER T., WITTENZELLER M., HAECKEL H., NEKOVAR J. 2000. Phenology in Central Europe- differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology*. 44. 60-66.

## METHODES D'ANALYSE DE LA REPARTITION DES TEMPERATURES ET DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN A LYON.

S. BRIDIER<sup>1</sup>, H. QUENOL<sup>2</sup> et S. KERMADI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Provence, UMR 6012 ESPACE, 29 Avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence.

[sebastien.bridier@up.univ-mrs.fr](mailto:sebastien.bridier@up.univ-mrs.fr)

<sup>2</sup> Université Rennes 2, UMR 6554 LETG du CNRS, Laboratoire COSTEL, Place du Recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes Cedex

[herve.quenol@uhb.fr](mailto:herve.quenol@uhb.fr)

<sup>3</sup> Université Lyon 2, EVS / IRG - UMR 5600, 5 avenue Pierre Mendès-France, F 69976 Bron Cedex.

[Saida.Kermadi@univ-lyon2.fr](mailto:Saida.Kermadi@univ-lyon2.fr)

### Résumé

Cette étude de l'îlot de chaleur urbain de Lyon repose sur l'utilisation croisée des outils d'investigation employés en climatologie locale regroupant des moyens théoriques (SIG et bases de données, MNT) pour la modélisation, des observations terrain (mesures de températures) et des outils de mesure à distance (images NOAA-AVHRR).

**Mots clés :** ICU, SIG, mesures, NOAA-AVHRR

### Abstract

This study of the Urban Heat Island in Lyon depends on the use of the investigation tools used in local climatology : the theoretical means (GIS and data bases, DEM) for the modelisation, the observations ground (temperature measurements) and remote measuring instruments (NOAA-AVHRR images).

**Key words :** UHI, GIS, measurements, NOAA-AVHRR

### Introduction

L'étude de l'ICU est abordée ici suivant les observations faites par Carrega (1994) et reprises par Bridier (2002), reliant la répartition des températures avec les caractéristiques morphologiques de l'espace bâti. L'activité humaine et la présence des bâtiments favorisent une production et une accumulation d'énergie thermique qui modifie localement le champ de températures. Oke (1987) distingue cinq processus intervenant dans la formation de l'îlot de chaleur urbain (ICU) : la pollution de l'air, l'énergie produite par l'homme (tab.1), l'imperméabilisation du substrat qui diminue la consommation d'énergie par l'évaporation, les propriétés thermiques des matériaux qui favorisent le stockage, et la restitution de rayonnement IR, la géométrie des bâtiments qui piège les rayons de courtes longueurs d'onde (provenant du soleil, UV, Visible) et de grandes longueurs d'onde (IR émis par les bâtiments et les nuages).

|                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| Chauffage          | 25 Kcal/cm <sup>2</sup> /jour |
| Circulation auto   | 9 Kcal/cm <sup>2</sup> /jour  |
| Industrie          | 8 Kcal/cm <sup>2</sup> /jour  |
| Métabolisme humain | 1 Kcal/cm <sup>2</sup> /jour  |

Tableau 1 : Valeurs de l'énergie anthropique (source : Escourrou, 1991)

Les modifications climatiques engendrées par la présence humaine contribuent à la mise en place d'un climat urbain, issu d'une modification du climat régional. Ces altérations concernent aussi bien les champs de températures, de vent ou d'humidité, au travers des modifications du bilan d'énergie ou de la rugosité de surface.

Nous retiendrons l'hypothèse selon laquelle l'ICU est un phénomène local qui se généralise dans l'espace urbain au travers de la répartition du bâti. Les modifications du champ de températures proviennent essentiellement des caractéristiques des surfaces (forte représentation des surfaces verticales, matériaux de revêtement et de construction) qui influencent le bilan radiatif et énergétique, ainsi que de la production d'énergie d'origine anthropique (chauffage, circulation

automobile, industrie ...). C'est notamment la présence des surfaces verticales combinées avec des matériaux capables de stocker temporairement l'énergie du rayonnement en courte et grande longueur d'onde qui favorise une modification des échanges énergétiques entre la surface et l'atmosphère en accroissant la quantité d'énergie solaire interceptée. La répartition des surfaces susceptibles d'augmenter la quantité d'énergie disponible pour élever la température de l'air peut donc être considérée comme un facteur déterminant de la répartition des températures au sein de l'espace urbanisé, caractérisé par la présence d'un ICU.

### 1 Simulation de l'ICU par l'étude de la répartition du bâti et de la topographie

En supposant que le bâti et les surfaces imperméabilisées sont les principaux vecteurs de l'absorption et de la restitution de l'énergie solaire, l'étude de la répartition du bâti permet une première approximation de la répartition théorique des températures (dont les variations dépendent de l'effet de l'ICU). Trois indicateurs ont été créés pour restituer la répartition du bâti à partir des données issues du SIG de la COURLY (COMMUNAUTÉ URBAINE de LYON :

Le premier indicateur donne la répartition de la surface bâtie (par unité de surface). Le second donne la répartition du volume de bâti (par unité de surface). Le troisième donne la répartition de la surface verticale de bâti éclairée (par unité de surface). Ces trois indicateurs proviennent d'un traitement réalisés au sein du logiciel Mapinfo croisant une grille de taille variable (de 50 m à 1 km de côté) et le fichier du bâti (lui-même retraité avec les altitudes de surface ; toit et sol). Les trois indices représentent chacun un aspect du bâti, surface au sol, volume ou surface exposée, cependant la répartition générale est relativement semblable et permet de décrire une décroissance de la densité du bâti, des arrondissements centraux vers la périphérie (fig. 1)

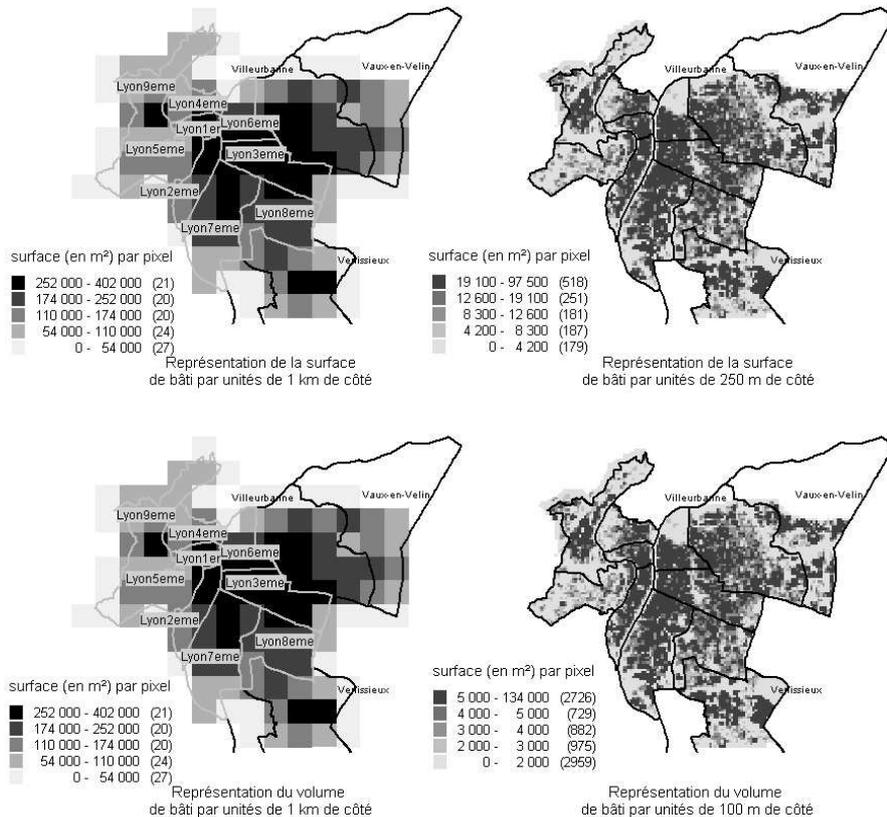


Figure 1 : Indicateurs de la répartition du bâti

L'effet de l'orographie est aussi pris en compte au travers de traitements sur le modèle numérique de terrain permettant de calculer l'orientation et l'inclinaison de la pente. Après cette étape d'analyse théorique il est possible de localiser un centre plus dense et des secteurs dont l'orientation détermine une exposition préférentielle au cours de la journée (fig. 2).

L'ensemble des données disponible permet aussi de réaliser une représentation tridimensionnelle de cet espace qui autorise une visualisation nouvelle de ce genre de phénomène très localisé.

## 2 Validation sur le terrain et par le traitement d'images satellites

L'étape de la validation a été réalisée à partir de deux méthodes d'investigation très différentes l'une de l'autre.

La première méthode repose sur une campagne de mesures sur le terrain réalisée durant le printemps 2000, en collaboration avec deux étudiants de maîtrise, à l'aide d'un réseau temporaire de capteurs de températures sous abris de type Tinytalk. Les abris ont été installés suivant une configuration limitant les effets de rayonnement très localisés (distance supérieure à 10 m d'un mur éclairé) sur l'ensemble de la ville et des communes limitrophes. La période retenue correspond à un épisode radiatif dont les conditions limitées de nébulosité et de ventilation favorisent l'expression du climat aux échelles fines. Les mesures ont mis en évidence la présence de contrastes très marqués entre le centre plus dense et la périphérie ainsi que l'effet de l'exposition des sites de mesures implantés sur les collines de Fourvière et de la Croix Rousse. Il existe une bonne corrélation entre la densité du bâti et les températures. Le lien températures élevées/bâti est significatif durant la nuit pour l'épisode de 15 jours au printemps 2000.

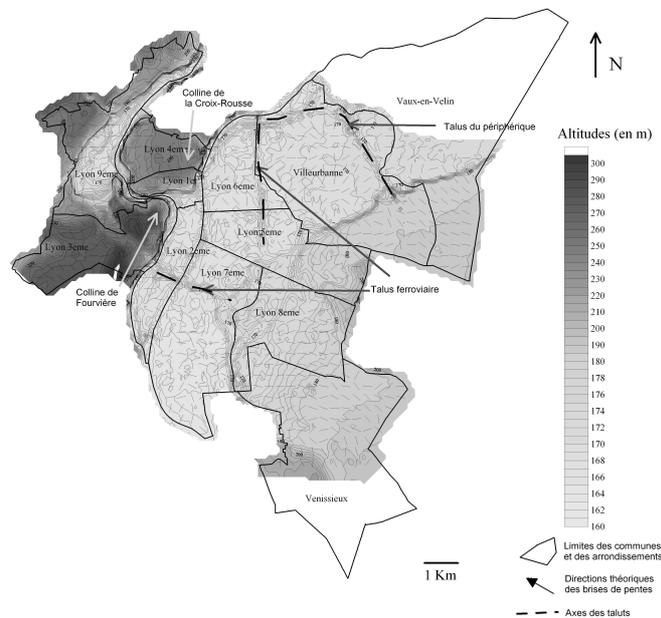


Figure 2 : Modèle Numérique de Terrain

La seconde méthode repose sur des données satellitaires. Par absence des images thermiques mieux adapté au modèle, les données NOAA-AVHRR 15 ont été utilisées, et ce, malgré leur basse résolution. Ces images, permettant l'estimation de la température de surface au kilomètre (Kermadi *et al*, 2001), ont complétées les mesures classiques et de campagne. Les canaux 4 et 5 ont été redressés géométriquement et corrigés des effets atmosphériques par la méthode split window de Le Gléau (1996), méthode utilisée et conseillée par Météo-France, Lannion.

Ces images ont mis en évidence une grande variation spatiale des températures (fig. 3). Les quatre dates analysées permettent de bien distinguer les espaces les moins chauds correspondant aux

communes à NDVI important (6<sup>e</sup> avec le Parc de la Tête d'Or, Nord de Villeurbanne) ou aux communes limitrophes les plus élevées et les plus végétalisées (au N et NW de Lyon). Les températures les plus chaudes correspondent d'une part, aux arrondissements les plus denses (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>) et d'autre part, aux espaces les plus industrialisés de La Courly (7<sup>e</sup> + communes du sud de Lyon). La comparaison avec la répartition de l'espace bâti montre une relation étroite entre la localisation des pixels les plus chauds et des zones où le bâti est très dense.

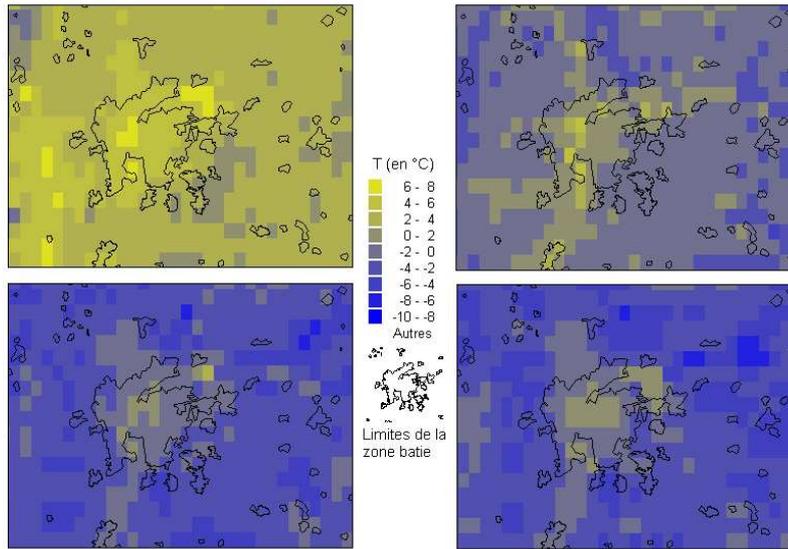


Figure 3 : Images Infrarouge NOAA-AVHRR de l'agglomération lyonnaise.

## Conclusion

La combinaison des différents outils utilisés en climatologie par les géographes permet de croiser différents types d'informations, à différentes échelles, pour cerner le phénomène de l'ICU. Il semble évident que les hypothèses sont confirmées, aussi bien pour les températures de l'air sous abris que pour les températures de surfaces issues des images NOAA-AVHRR. Il reste un problème de compatibilité au niveau de la résolution de la grille de chacune des méthodes de validation, cependant les résultats ne se contredisent pas et tendent au contraire à confirmer la prépondérance du rôle du bâti dans la répartition du bâti. Il ne faut pas non plus négliger l'effet de l'orographie, notamment pour les effets d'orientation vis à vis du rayonnement direct. Le SIG montre ici toute son utilité pour le croisement de données spatio-temporelle multi échelles. Il permet en outre une extraction en 3D qui autorise une communication, et un enseignement plus visuels, et ouvre des perspectives dans la réflexion scientifique autour d'outils jusqu'ici réservés à l'infographiste ou à l'architecte.

## Bibliographie

- BRIDIER S., 2001 : *Modélisation de la répartition des brises et des températures en situation radiative*. Thèse de doctorat de l'université Denis Diderot (Paris 7), 178p.
- CARREGA P., 1994 : *Topoclimatologie et habitat*. Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée. Thèse d'Etat, vol 35&36, 408p.
- ESCOUROU G., 1991 : *Le climat et la ville*. Nathan, 190p.
- OKE T.R., 1987 : *Boundary Layer Climates*. Second edition, London, 372p.
- KERMADI S., Dubreuil V. et Planchon O., 2001, Contribution des données NOAA-AVHRR à la cartographie des températures de l'air à échelle fine : application au département de la Sarthe, Publications de l'Association Internationale de Climatologie, n° 13, Nice, pp. 444-452 ;
- LE GLEAU H., 1996, Etude de la température de surface AVHRR, document interne de Météo-France, Lannion

## LUTTE CONTRE L'ÉROSION PLUVIALE : CAS DE LA COMMUNE URBAINE D'ABOMEY-CALAVI

E. AMOUSSOU, . E. KEKE & M. BOKO

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE) -  
Département de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) BP : 526 Abomey-Calavi - E-mail :  
ajernest@yahoo.fr*

### Résumé

La ville d'Abomey-Calavi, située sur le plateau d'Allada subit l'agressivité du climat, combinée à la topographie du milieu et l'évolution démographique qui constituent les facteurs potentiels d'érosion contre lesquels des actions seront menées pour des stratégies durables. L'analyse de coefficient du ruissellement et des pertes de terre permettent de mesurer la vitesse de dégradation des infrastructures socio-économiques de la ville.

**Mots clés** : érosion pluviale, dégradation, ruissellement.

### Abstract

The town of Abomey-Calavi, located on the plateau of Allada undergoes climatic aggressiveness, combined with topography and demographic trends which are potential factors of erosion actions will be carried out for durable strategies. The analysis of the run off coefficient and land losses make it possible to measure the indicator of this city degradation.

**Key words**: Abomey-Calavi, rained erosion, degradation, run off

### Introduction

L'environnement évolue en fonction des conditions bioclimatiques et des actions humaines surtout dans les villes docteurs comme Abomey-Calavi. Cette pression démographique actuelle accroît l'emprise de l'homme sur la nature, ainsi la protection de l'environnement devient préoccupante. Le site de la ville, située au sud-est du plateau d'Allada entre 6°19 et 6°24 de latitude nord et 2°19 et 2°20 de longitude est (figure1) et reçoit une pluviométrie moyenne annuelle qui varie de 1100 à 1300 mm.

La dégradation du milieu due aux facteurs naturels et anthropiques pose d'importants problèmes d'ordre infra structurel, économique et social, car les cas d'inondation saisonnière sont fréquents. Eu égard à l'ampleur du problème de dégradation avancée de la ville, il devient urgent qu'une action de freinage, à défaut d'éradiquer le phénomène, soit menée pour un aménagement durable du cadre de vie.

### 1- Données et méthode de recherche

Cette étude est appuyée sur les travaux de recherche publiés, la collecte des données pluviométriques de la période 1960-2000 de la station synoptique de Cotonou qui la plus proche du secteur d'étude. Abomey-Calavi est menacée par le ravinement ainsi pour évaluer la quantité des terres perdues, la méthode d'équation universelle (USLE) de Wischmeier et Smith (1962) appliquée au Bénin par Azontondé (1981) dans le cadre d'étude de l'érosion hydrique sur terre de barre au sud du Bénin a été utilisée.

La détermination des pertes de terre et la vitesse de sapement par le ruissellement sont évalués à partir de la formule:  $E = R \times K \times SL \times C \times P$  (Wischmeier & Smith, 1960) où: R: représente l'indice d'agressivité climatique ; K: l'indice de sensibilité du sol à l'érosion ; SL: l'indice topographique qui regroupe à la fois l'inclination et la longueur de la pente ; C: le facteur

biologique exprimant les interactions entre la couverture végétale et les techniques culturales utilisées ; P : l'indice tenant compte de l'efficacité des aménagements anti-érosifs.

La méthode de détermination de la vitesse de sapement ( $v_s$ ) des fondations a consisté à quantifier la perte des terres autour des fondations des maisons. Cette vitesse de sapement

$$V_s = \frac{h}{a} \text{ avec } h \text{ la profondeur de la rigole et } a \text{ l'âge de la maison, est en cm.}$$

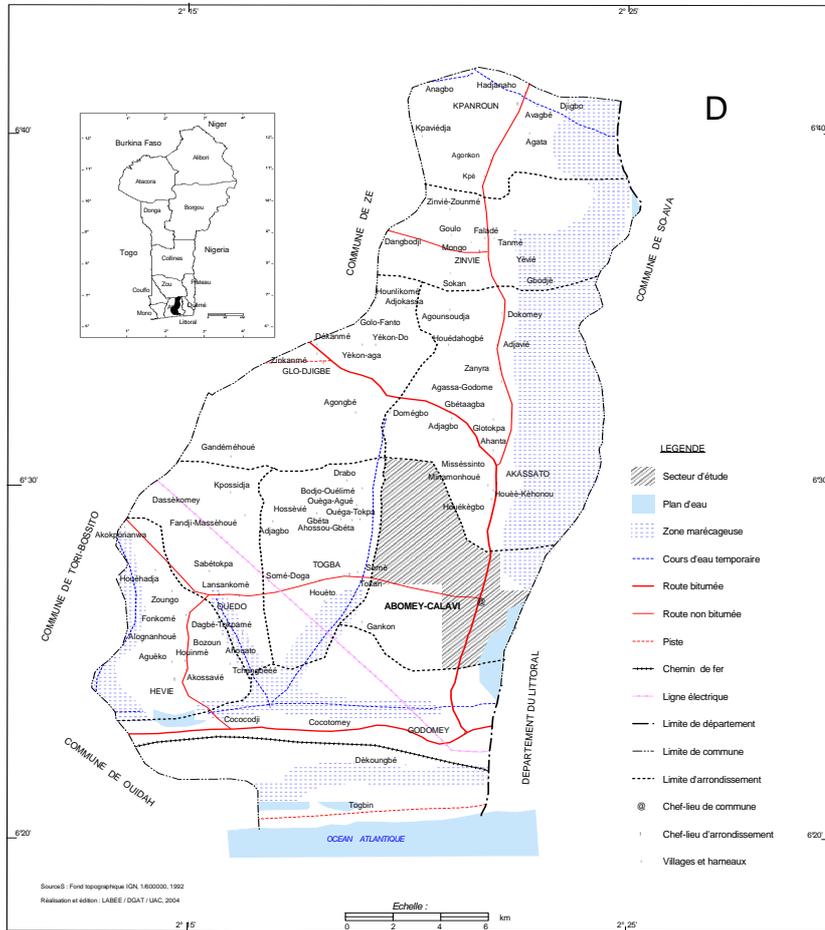


Figure 1 : Localisation de la Commune d'Abomey-Calavi

Par ailleurs, si  $V$  est le volume de terre perdue,  $L$  la longueur de la rigole.  $V = L \times l \times h$  ; le volume de la terre perdue est exprimé en  $m^3$

Cette méthode a été appliquée par Agossou et Odoulami (1994) et Kèkè (2002), respectivement dans le cas de l'étude de l'hydrologie urbaine de Ouidah, de la dégradation et l'aménagement urbain à Lokossa et de la ville d'Abomey-Calavi. Les observations sur le terrain ont porté sur les localités les plus vulnérables au déchaussement progressif des voies, des habitations et l'abattage de la végétation servant à faire les acadja.

L'étude d'impact de l'érosion pluviale sur les infrastructures socioéconomiques d'Abomey-Calavi, repose également sur l'approche statistique. L'approche méthodologique utilisée s'inscrit dans le concept du modèle PEIR qui signifie Pression-Etat-Impact-Reponses.

### 3. Résultats

#### 3.1 Tendances générales

La caractérisation de l'importance de l'érosion et son influence sur les différents secteurs du site urbain d'Abomey-Calavi, a nécessité :

- la mesure des « découvertes de fondations » des maisons d'habitation et des infrastructures urbaines dans les secteurs I, II, et III, (tableau 1) regroupés suivant le degré d'impact de l'érosion dans la ville.

- la détermination de la quantité de terre perdue et la vitesse de sapement par le ruissellement.

Cette dégradation des sites urbains affecte le bien-être des habitants : malaise des populations, la perturbation des transports au sein de la ville et les contraintes matérielles et financières.

Tableau 1: Indicateur de déchaussement des fondations, des infrastructures socio-économiques dans les différents secteurs ciblés dans la ville d'Abomey-Calavi

| secteurs | Nombre de découvertes mesurées | Nombre de Fondations non érodées en % (0-3 cm) |        | Nombre de Fondations peu érodées en % (3-8 cm) |        | Nombre de Fondations très érodées en % (8 cm et plus) |        |
|----------|--------------------------------|--|--------|--|--------|---|--------|
|          |                                |  |        |  |        |   |        |
| I        | 67                             | 46   | 68,7 % | 12   | 13,4 % | 12  | 17,9 % |
| II       | 98                             | 24   | 24,5 % | 35   | 35,7 % | 39  | 39,8 % |
| III      | 129                            | 05   | 3,9 %  | 32   | 24,8 % | 92  | 71,4 % |
| Total    | 294                            | 75   | 25,7 % | 76   | 25,9 % | 143   | 48,4 % |

Tableau 2 : Coefficient de ruissellement à Abomey – Calavi

|   | Surfaces imperméables : nues <sup>1</sup> |               | Surfaces perméables : végétalisées <sup>2</sup> |               |
|---|---|---------------|---|---------------|
|   | Cours de concession                       | Voie publique | Cultivées                                       | friches       |
| a | 50 à 85 %                                 | 70 à 100 %    | 10 à 50 %                                       | 0,1 à 2,555 % |
| b | 65 %                                      | 85 %          | 30 %  | 13 %          |

a : Coefficients déterminés b : Moyennes

<sup>1</sup> : Extrait de E. HIRTZ (1992) : Le ruissellement urbain à Porto-Novo ; <sup>2</sup> : D'après les études sur l'érodibilité du sol à Agonkanmey.

L'analyse du coefficient de ruissellement montre que la surface des terres nues est plus érodée que les surfaces végétalisées.

La vitesse ou l'ampleur de l'érosion dépend de la quantité d'eau de pluie et de l'année (figure 2 et 3). En fait la première saison représente près de 70 % des précipitations annuelles et la seconde 20 % (Adam & Boko, 1993).

L'inégale répartition des pluies ajoutée aux actions humaines contribuent au renforcement des manifestations érosives et qui s'intensifient de plus en plus dans les secteurs II et III regroupant les quartiers comme Aganmadin et Tokpa-Zoungo.

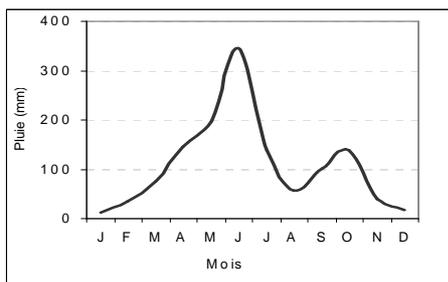


Figure 2 : Régime pluviométrique à Cotonou de 1960-2003

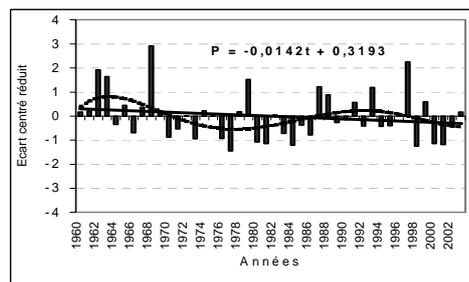


Figure 3: Variabilité inter-annuelle de la pluie à Cotonou en anomalies standardisées de 1960-2003

### 3.2- L'impact de l'érosion sur le milieu physique et social

L'impact de l'érosion sur le milieu physique d'Abomey-Calavi se mesure surtout à travers la dégradation poussée de la voirie, le déchaussement progressif des bâtiments et ouvrages d'art et l'ensablement du lac Nokoué (photos 1, 2 et 3).

La dégradation du site urbain contribue énormément à la destruction des infrastructures sociales et au comblement du lac Nokoué.



Cliché Amoussou, 2004

**Photo 1 :** Rigole qui draine l'eau et les particules solides vers le lac Nokoué à Tokpa-Zoungo



Cliché Kèkè, 2002

**Photo 2 :** Poteau électrique menacé par l'érosion à Aganmadin



Cliché Kèkè, 2002

**Photo 3 :** Ecrroulement des murs des concessions en banco à Aganmadin du fait du ruissellement

### **Conclusion**

Au terme de cette étude, il ressort que la combinaison des actions anthropiques aux conditions naturelles du milieu favorise et aggrave le processus d'érosion qui contribue certainement à l'ensablement du lac Nokoué. En outre, l'érosion se traduit par le ravinement et la dégradation considérable de la voirie et le sapement des fondations, des bâtiments dans les secteurs II et III.

Enfin pour des aménagements de protection durable, il faut intégrer la réalisation d'un système de canalisation adéquat, la réglementation de l'occupation du sol et la création d'espaces verts dans la commune.

### **Références bibliographiques**

- ADAM. S ET BOKO. M, (1993) : Le Bénin, Editions du Flamboyant, Cotonou, 93 p.
- AGOSSOU I. ET ODOULAMI L. (1994) : Hydrologie urbaine de Ouidah. Mémoire de maîtrise de géographie /FLASH-UNB, 112 p
- AZONTONDE A. (1988) : Conservation des sols et des eaux en république populaire du Bénin ; bilan des actions passées et perspectives, 9è réunion de corrélation des sols, 50 p.
- BOKO M., (1988) : Climat et communautés rurales au Bénin, rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorat d'Etat. Dijon, Université de Bourgogne. 605p.
- HIRTZ E. (1992) : Le ruissellement urbain à Porto-Novo U.L.P. Strasbourg- Mémoire de maîtrise géographie/ FLASH/ UNB, 99 p.
- KEKE E. (2002) : L'érosion pluviale en milieu urbain : Cas de la Commune d'Abomey-Calavi. Aspects, Impacts et moyens de lutte. Mémoire de maîtrise de géographie/FLASH-UNB, 83 p.

## LA FORMATION DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN EN HIVER DANS UNE VILLE TROPICALE : EXEMPLE DE PRESIDENTE PRUDENTE, BRÉSIL

M.C.C.T. AMORIM (\*), M.M. DOS PASSOS (\*), V.DUBREUIL (\*\*)

(\* ) FCT – UNESP – Presidente Prudente. Rua Roberto Simonsen, 305. CEP 19060-900. Presidente Prudente SP.  
Brésil. [mccta@prudente.unesp.br](mailto:mccta@prudente.unesp.br) ; [passos@stetnet.com.br](mailto:passos@stetnet.com.br)

(\*\*) COSTEL, UMR 6554 CNRS LETG, Université Rennes 2, [vincent.dubreuil@uhb.fr](mailto:vincent.dubreuil@uhb.fr)

### Résumé

Nous présentons dans cet article les résultats d'une campagne de mesures réalisée en juillet 2002 à Presidente Prudente, Brésil. Les cartes de températures de nuit montrent comment les types d'urbanisation influent sur la diversité climatique intra-urbaine alors que la zone rurale est davantage marquée par les contrastes liés à la topographie.

**Mots-clés:** îlot de chaleur urbain, climat tropical, Brésil

### Abstract

In this paper, we present the results of urban climatological measurements obtained during July 2002 in Presidente Prudente, Brazil. Maps of night temperatures showed the impact urbanisation type and density on the urban heat island and the in-town climate diversity whereas in the surroundings the temperatures are observed by the topography.

**Key-words:** urban heat island, tropical climate, Brazil

### Introduction

Presidente Prudente est une agglomération de 200 000 habitants située dans l'intérieur de l'Etat de São Paulo au Brésil. La diversité de la structure intra-urbaine (densité de constructions, verticalité des bâtiments, importance de la végétation dans les rues, zones dégradées, zones vertes, résidentielles, commerciales) contribue à générer des « ambiances » urbaines elles-mêmes très diversifiées. La zone rurale autour de Presidente Prudente est caractérisée par la présence de pâturages et une végétation arborée clairsemée laissant, au niveau du sol, une couverture végétale permanente. Le relief est assez peu accentué dans la partie centrale de la ville (où les principaux édifices de plus de 4 étages se concentrent) mais plus vallonné en périphérie.

Le climat de la région de Presidente Prudente résulte de l'alternance des systèmes atmosphériques tropicaux et tempérés, la fréquence des types de temps associés aux masses d'air tropical maritime étant la plus importante. Cependant, une part significative des précipitations est apportée par les perturbations du Front Polaire de l'Atlantique sud : cette configuration atmosphérique entraîne des invasions « polaires » et un temps perturbé et ce même pendant le printemps et l'été. Cette étude a pour objectif d'analyser les propriétés thermiques nocturnes hivernales de Presidente Prudente lors d'épisodes caractéristiques qui génèrent des contrastes thermiques importants du fait de la présence de l'agglomération.

### 1. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour la collecte des températures est celle des mesures itinérantes le long de 2 transects centre-ville périphérie : pour cela, nous avons utilisé des thermomètres digitaux installés à l'extrémité de perches en bois de 1,5 m elles-mêmes fixées latéralement sur deux véhicules roulant à faible vitesse et traversant la ville de part en part (zone rurale – centre ville – zone rurale). Les mesures ont été réalisées en juillet 2002 entre 20:00h et 20:45h, période suffisamment courte pour que les températures aient globalement peu le temps de varier. Pour la journée du 25 juillet, étudiée ici plus en détail, le premier transect a permis de collecter 42 observations de température et le second 78. Ce type de mesure itinérante urbaine par transect

suppose que le temps passé entre la première et la dernière mesure ne dépasse pas une heure et que la vitesse de déplacement des véhicules soit constante et modérée (entre 30 et 40 Km/h). Cette méthodologie a été retenue et adaptée par de nombreux auteurs comme Oke et Maxwell (1975); Gomez et Garcia (1984); Johnson (1985); Pitton (1997)...

Les relevés de terrain ont été réalisés lors de situations hivernales où la vitesse du vent synoptique était faible, conditions théoriquement favorables pour que se développe le contraste thermique ville-campagne. Les systèmes atmosphériques régionaux du jour et des journées précédentes ont été analysés à partir des cartes synoptiques de surface disponibles sur le site de la Marine du Brésil<sup>2</sup> et des images du satellite géostationnaire Goes-Est<sup>3</sup>. Pour améliorer l'analyse des résultats, des cartes en isothermes ont été élaborées à partir du logiciel *Surfer for Windows*<sup>4</sup>, permettant ainsi de mieux visualiser les variations spatiales des températures dans les différents quartiers de la ville.

Les nuits correspondant aux relevés de terrain (14, 16, 17, 23 et 25 juillet 2002) se caractérisent par un ciel clair, une faible vitesse de vent orienté préférentiellement à l'est voire calme (Tableau 1). Les données acquises à 20:00 et 21:00 à la station météorologique située à l'université FCT/UNESP de Presidente Prudente, permettent d'observer la relative stabilité des températures.

Tableau 1 – Relevés de température (T), humidité relative (UR), direction (DV) et vitesse du vent à la station Météorologique de la FCT/UNESP.

| FCT/UNESP |       |        |        |         |     |     |
|-----------|-------|--------|--------|---------|-----|-----|
| JOUR      | H     | T (°C) | UR (%) | DV(m/s) | VV  | NEB |
| 14/07     | 20:00 | 16     | 77     | SE      | 0,5 | 0   |
|           | 21:00 | 16     | 77     | CL      | 0,0 | 0   |
| 16/07     | 20:00 | 20,0   | 59     | CL      | 0,0 | 0   |
|           | 21:00 | 20,2   | 54     | CL      | 0,0 | 0   |
| 17/07     | 20:00 | 19,7   | 43     | SE      | 1,0 | 0   |
|           | 21:00 | 18,9   | 45     | SE      | 3,0 | 0   |
| 23/07     | 20:00 | 21,4   | 77     | NE      | 0,5 | 0   |
|           | 21:00 | 21,2   | 78     | E       | 4,0 | 0   |
| 25/07     | 20:00 | 23,8   | 51     | NE      | 0,5 | 0   |
|           | 21:00 | 22,6   | 53     | CL      | 0,0 | 0   |

Source: Station Météorologique de la FCT/UNESP – Juillet/2002

## 2. Résultats et Discussion

D'une manière générale, les villes génèrent un îlot de chaleur, les températures augmentant de la périphérie rurale et des quartiers moins densément construits vers les quartiers plus denses et le centre ville. Dans notre cas, pour toutes les journées étudiées, de fortes amplitudes thermiques ont pu être observées : les écarts maxima oscillaient entre 4,9°C (le 23/07) et 9,6°C (le 25/07), comme le montre le tableau 2. Les contrastes thermiques les plus faibles ont été observés lors des journées avec un vent modéré (5,4°C le 17/07, avec un vent de 3,0m/s et 4,9°C le 23/07, avec un vent de 4,0m/s).

Tableau 2 – Températures extrêmes et amplitude thermique entre les stations

| Temp.(°C) | 14/07 | 16/07 | 17/07 | 23/07 | 25/07 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Maxima    | 17,9  | 22,3  | 20,1  | 22,3  | 26,7  |
| Minima    | 11,9  | 14,8  | 14,7  | 17,4  | 17,1  |
| Amplitude | 6,0   | 7,5   | 5,4   | 4,9   | 9,6   |

Source: Relevés de terrain – 2002

<sup>2</sup> [www.mar.mil.br](http://www.mar.mil.br)

<sup>3</sup> <http://satellite.cptec.inpe.br/imagens/>

<sup>4</sup> Surfer est une marque déposée Golden Software, Inc.

Dans la plupart des études, l'îlot de chaleur urbain se développe pendant la nuit à partir du centre de la ville où se situe généralement la plus forte densité de construction. Cependant, à Presidente Prudente, ce sont plusieurs cellules séparées d'îlot de chaleur qui ont été observées et que l'on peut mettre en relation avec les volumes et voiries urbains comme le montre la figure 1. On observe d'abord une grande cellule d'air plus chaud localisée au centre ville, là où sont situés les quartiers les plus anciens et densément construits, mais subdivisée en deux noyaux nord et sud. Au fur et à mesure que la densité des constructions diminue vers la périphérie, la température diminue également. Une deuxième cellule est située à l'ouest de la ville où on trouve deux lotissements résidentiels également densément construits. Les températures de cette cellule sont également plus élevées que dans le reste de la ville et de la campagne mais plus basses de 1° à 2°C que celle du centre ; la taille de cette cellule est également plus modeste que celle du centre-ville.

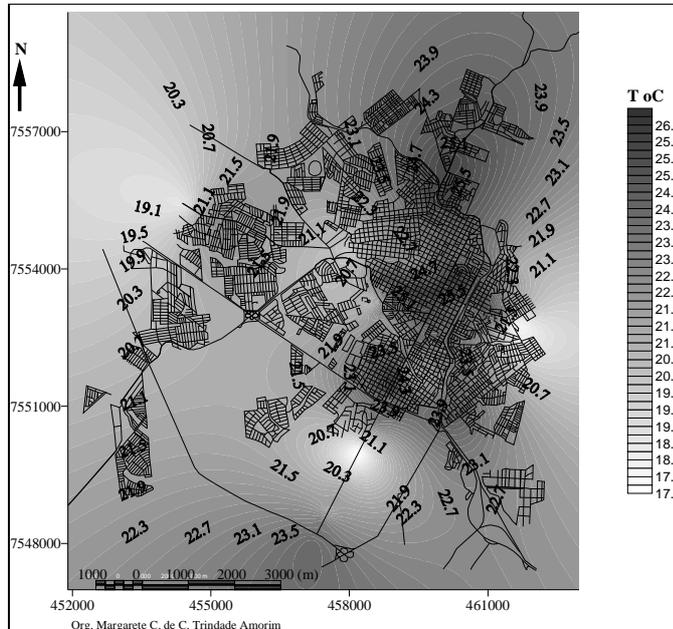


Figure 1 - Températures observées le 25/07/2002 à 20:00h à Presidente Prudente

La localisation des températures les plus élevées est directement liée à la densité des constructions et l'excès de chaleur nocturne observé dans ces quartiers résulte de la restitution de l'énergie accumulée pendant la journée par les bâtiments. La diminution de la densité des bâtiments provoque une rupture nette entre les températures élevées du centre ville et les valeurs plus basses de la campagne ou des quartiers peu denses.

Par conditions de vent calme ou de l'ordre de 0,5m/s, des températures plus basses ont été observées entre la cellule chaude du centre-ville et celle de l'ouest, alors qu'elles sont toutes les deux insérées dans le tissu urbain continu. Cependant cet intervalle de températures plus basses entre les deux cellules a disparu le 17/07 en raison d'un léger vent de sud-est (entre 1m/s à 20:00 et 3 m/s à 21:00) ; les déplacements de l'air ont été suffisants pour homogénéiser les températures plus élevées dans toute la partie occidentale de la ville et cela indépendamment de la densité des constructions. La chaleur « produite » dans ce secteur a été dissipée par le vent dans les alentours alors que les quartiers et les campagnes situés juste à l'est du centre ville ont enregistré les températures les plus basses ce jour là.

Pendant toutes les journées étudiées, la limite des zones construites vers l'extérieur de la ville limitent clairement l'extension de l'îlot de chaleur urbain. Néanmoins, les zones intra-urbaines de densités de bâti plus faibles ont été marquées par des températures plus basses. Au cours des nuits sans nuages étudiées ici, les fonds de vallées ruraux ont enregistré les températures les plus basses

comme on peut l'observer sur la figure 1 au sud, à l'est et à l'ouest de la ville. Cependant, dans le secteur urbanisé, l'îlot de chaleur n'est que peu affecté par les variations d'altitudes.

### **Conclusion**

Dans cette étude portant sur une ville moyenne d'une région tropicale, l'étude du comportement nocturne des températures montre que les secteurs urbanisés sont favorables au développement de conditions climatiques contrastées à échelle fine. Ces différences sont particulièrement marquées lors des nuits claires et calmes quand la variété des conditions de surface peut imprimer aux basses couches de l'atmosphère des conditions climatiques diverses. En zone rurale, les conditions topographiques permettent d'opposer les vallées où l'air froid s'accumule aux plateaux moins froids. En milieu urbain, les paramètres les plus décisifs pour expliquer les variations locales de températures sont la nature et la densité des constructions, les différences d'altitudes contribuant peu à modifier l'allure générale de l'îlot de chaleur urbain. Ainsi, en milieu tropical, plus encore que dans la zone tempérée, l'aménagement urbain doit prendre en compte les phénomènes climatiques spécifiques générés par les types d'occupation du sol pour limiter l'accroissement des températures générés par l'extension des villes.

### **Bibliographie**

- AMORIM, M. C. C. T., 2000. *O clima urbano de Presidente Prudente/SP*. São Paulo, 374p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- GOMEZ, A. L., GARCIA, F. F., 1984. La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano. *Estudios Geográficos*, 45, n.174, p.5-34.
- JOHNSON, D. B., 1985. Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U. K. *Journal of climatology*. v. 5, p. 221-225.
- MONTEIRO C. A. de F., 1976. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: IGEOG/USP, 181p. (Série Teses e Monografias, 25).
- OKE, T. R., MAXWELL, G.B., 1975. Urban heat island dynamics en Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment*, v.9, p.191-200.
- PITTON, S. E. C., 1997. *As cidades como indicadores de alterações térmicas*. São Paulo. 272p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

# QUELQUES TRAITS CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT ET DU TOPOCLIMAT DANS LA REGION PERIURBAINE DE LA VILLE DE CRAIOVA

G. NEAMU

*Département de Géographie, Université d'Oradea, Roumanie*  
[gneamu@yahoo.com](mailto:gneamu@yahoo.com)

## Résumé

L'aire suburbaine de la ville de Craiova est délimitée au nord et à l'ouest par le Piémont Gétique et au sud et à l'est, par la Plaine d'Oltenie. En conséquence, la surface active se trouve sous l'influence de ces deux unités de relief et, en même temps, sous l'influence de l'activité humaine.

L'activité humaine est représentée par une usine chimique à Işalniţa et par une grande surface de serres, avec une centrale thermique à lignite, dans les environs. La quantité maximum de précipitations tombées en 24 heures, le 6 septembre 1968, a été provoquée par une grande pollution de la zone industrielle (Craiova 91.5 mm, Işalniţa 109.9 mm). L'effet de l'urbanisation se constate dans la température moyenne annuelle qui est plus élevée de 0.2°C à Craiova (10.9°C) par rapport à la zone suburbaine de Işalniţa (10.7°C).

Les quantités moyennes annuelles de précipitations sont plus élevées dans la zone périurbaine qu'en ville (Craiova 529 mm, Pleniţa, 585 mm, Faţa Motrului, 684 mm etc.). Cette situation est due à une plus grande évapotranspiration dans l'aire suburbaine et aussi au plus grand nombre de noyaux de condensation dans la région industrielle.

**Mots-clés** : surface active, région périurbaine

## Abstract

The suburban area of Craiova lies on the fringes of the Getic Piedmont Hills in the north, and on the west of Oltenia Plain in the south and east. As a consequence, the active surface stands under the direct influence of these two big relief units on the one hand, and of the intense human activity, on the other.

Human activity shows up in the industrial structures raised on the chemical estate of Işalniţa, and in the vast green - house covered zones, contributing to the quantitative modification of some climate variables. So, the maximum quantity of rainfall/24 hours registered on September 6, 1968 in the industrial zone was nearly 20 mm higher due to the more numerous condensation nuclei released into the atmosphere (Craiova, 91.5 mm; Işalniţa 109.9 mm). At the same time, the green-house effect of the city led to a rise in the mean annual temperature by 0.2°C in Craiova (10.9°C) compared to the suburban zone of Işalniţa (10.7°C).

The annual amounts of precipitation in the suburban zone are by 20/80 mm higher (Craiova 529 mm, Pleniţa, 585 mm, Faţa Motrului, 684 mm etc.). This situation is due, on the one hand, to potential evapotranspiration (far greater in the suburban area) and on the other hand, to the condensation nuclei, which are more numerous in this zone.

**Key-words**: the active surface, the suburban area

## Introduction

La région périurbaine de la ville de Craiova est située dans la Plaine d'Oltenie près des collines du Piémont Gétique au nord. On remarque des différences de température et de précipitations entre le centre de la ville et la région environnante.

### 1. Températures moyennes, maximales et minimales; valeurs et séquences des jours chauds

Ainsi, la température moyenne annuelle enregistrée à Craiova est de 10.8°C. Elle est plus basse dans la plaine située au nord, étant de 10.4°-10.6°C. En même temps, elle s'élève vers le sud jusqu'à 11°C à Pleniţa et à Segarcea.

Les températures moyennes du mois le plus rigoureux, janvier, sont de -2°C dans la région périurbaine (à Işalniţa par exemple) et un peu plus élevées à l'intérieur de la ville (jusqu'à -1.0°C), à cause de "l'effet d'urbanisation" dû au chauffage des immeubles et à la circulation des véhicules.

La température la plus basse enregistrée à Craiova est de -30.5°C, en janvier 1942.

Pendant la période de grand froid qui s'est abattue sur Craiova du 24 au 26 janvier 1942, l'accumulation de l'air froid, plus lourd, dans le couloir de Jiu, a entraîné de températures encore plus basses à Mofteni, Braniștea on Balta Verde, villages situés dans le pré de Jiu.

Pendant la même période, la température était de  $-29^{\circ}\text{C}$  dans les villages Ghercești, Simnicu de Sus, Mischii, situés dans les régions plus hautes autour de la ville de Craiova.

Avec la diminution des advections d'air froid de l'est, de même qu'avec l'influence plus puissante des cyclones méditerranéens provenant du sud-ouest, le printemps s'installe un peu plus vite, étant marqué par la hausse rapide des températures, en moyenne de  $5-6^{\circ}\text{C}$  entre le mois de février et de mars et de  $6-7^{\circ}\text{C}$  entre le mois de mars et d'avril. Dans ce cas aussi, les valeurs sont de  $0.5^{\circ}\text{C}$  jusqu'à  $1.5^{\circ}\text{C}$  plus basses dans la vallée du Jiu que dans le centre de la ville

Pendant le mois le plus chaud, juillet, les températures moyennes varient entre  $23.5^{\circ}\text{C}$  à Segarcea et  $23.0^{\circ}\text{C}$  à Craiova. Celles-ci diminuent dans les villages du nord de la ville Craiova (à Ghercești, Simnicu de Jos et Mischii). Les maximums absolus enregistrés au mois d'août dépassent  $41^{\circ}\text{C}$  ( $41.5^{\circ}\text{C}$  à Craiova,  $41.1^{\circ}\text{C}$  à Băilești et Segarcea).

On a enregistré un grand nombre de jours sereins. A cause des advections d'air tropical (du nord du Sahara), le nombre de jours d'été et de jours tropicaux est grand. Le nombre de jours tropicaux varie entre 50 jours à Craiova et 53 jours dans la région périurbaine à Segarcea et à Podari.

Les contrastes thermiques des mois d'hiver et d'été enregistrent des amplitudes moyennes de  $24^{\circ}\text{C}$  à Filiași et à Ghercești (dans la région périurbaine au nord et au nord-ouest).

Les automnes sont longs et chauds. La température moyenne en septembre se maintient à  $18^{\circ}\text{C}$  ( $18.2^{\circ}\text{C}$ , à Craiova,  $18.3^{\circ}\text{C}$  à Băilești,  $18.1^{\circ}\text{C}$  à Filiași).

Des températures plus élevées que dans d'autres régions avec la même altitude se maintiennent aussi en novembre :  $5.2^{\circ}\text{C}$  à Craiova,  $5.7^{\circ}\text{C}$  à Băilești et  $5.0^{\circ}\text{C}$  à Filiași et Caracal).

Pendant ce mois, le gel peut apparaître ; il se manifeste aussi dans la région périurbaine de Craiova, en général pendant les dix derniers jours du mois d'octobre, au nord de la ville et pendant les dix premiers jours du mois de novembre, dans la plaine située au sud et à l'est (7 novembre à Băilești, 2 novembre à Leu etc.).

Les gelées les plus tardives peuvent apparaître à Craiova jusqu'au début du mois de mai (Craiova - 6 mai, Băilești - 1 mai).

La durée de la période sans gel est plus grande à Băilești (205 jours contre 200 jours à Craiova).

## **2. Quantités moyennes annuelles de précipitations**

En ce qui concerne les précipitations atmosphériques, celles-ci sont plus abondantes à Craiova, où elles dépassent 550 mm/an et elles diminuent dans la région périurbaine au sud et à l'est où l'on enregistre des valeurs de 500 mm.

Les plus grandes quantités sont enregistrées en mai et en juin, avec des valeurs de 60 à 70 mm à Craiova et de 50 à 60 mm dans la région périurbaine. Les quantités enregistrées pendant les mois de mai et juin représentent environ 30% du total des précipitations moyennes annuelles.

Il y a des petites différences enregistrées d'un mois à l'autre, mais il y a aussi de grandes variations qui apparaissent d'une année à l'autre. Par exemple à Brădești, dans la région périurbaine située au nord-ouest de la ville, on a enregistré 202 mm en février 1954 (près de 6 fois plus que la moyenne multiannuelle de ce mois).

La date moyenne de la première neige est le 3 XII à Craiova, soit 2-3 jours plus tard celle enregistrée dans la région périurbaine. La dernière neige peut tomber à Craiova pendant la deuxième partie du mois d'avril.

## **Conclusions**

La région périurbaine de la ville de Craiova – importante région agricole (particulièrement jardins potagers) et industrielle, ayant une surface active différente de celle du centre de la ville de Craiova, présente ses propres caractéristiques climatiques et topoclimatiques qui sont peu différentes en comparaison avec les caractéristiques de la ville. On y trouve des températures plus élevées (particulièrement dans la partie méridionale) de même que des précipitations plus basses de 40 à 50 mm en moyenne par an ; on enregistre aussi l'apparition de certains phénomènes spécifiques, comme par exemple la persistance de certaines inversions de température dans le couloir de Jiu et la présence d'un nombre de jours tropicaux plus grand dans la région périurbaine du sud et de l'est de la ville Craiova.

## **Références bibliographiques**

HEPITES ST., (1907), Climatologia Craiovei după 10 ani de observațiuni meteorologice 1895-1904, Anualele Institutului Meteorologic al României pe anul 1902. TXVIII Partea I, Anexa A, p.A 49-55, București.

NEAMU GH., (1968), Mersul temperaturii medii a aerului, lunară, anotimpuală și anuală în Oltenia deluroasă. Comunicări de Geografie vol, VI., p. 69-74, București.

NEAMU GH., (1969), Distribuția geografică a temperaturilor extreme absolute în Oltenia deluroasă SCGG, Geogr. T.XVI.1, p. 77-83, București.

STOENESCU ST.M., (1957), Câteva caracteristici ale evoluției diurne a temperaturii aerului în RPR. Meteorologia și Hidrologia, An II, nr.4, p.17-21, București.



## RADIOSONDAGES ET RISQUES D'ORAGES A CLUJ-NAPOCA

N. MAIER \* ET I. HAIDU\*\*

\*ANM – CMR Transylvanie Nord, [mcis73@yahoo.com](mailto:mcis73@yahoo.com)

\*\* Université de Cluj-Napoca, Faculté de Géographie, [ionel\\_haidu@yahoo.com](mailto:ionel_haidu@yahoo.com)

### Résumé

Le radiosondage à Cluj-Napoca est extrêmement important tant sur le plan local que sur le plan international. La lecture et le traitement des données du sondage ne présentent pas la situation des masses d'air au-dessus d'une région. L'intégration de toutes les données des sondages donne une image d'ensemble de la situation synoptique à un moment donné. La connaissance pour une certaine zone des indices d'instabilité et de certains niveaux spécifiques conduit à un meilleur pronostic des phénomènes météorologiques dangereux et par conséquent, à la sauvegarde de biens et de vies humaines.

### Abstract

Radioprobing in Cluj-Napoca is extremely important both at local and international level. The reading and processing of the probing data do not show the situation of the air masses above a region. The integration of all probing data gives a global image of the synoptic situation at a given time. The knowledge for a certain area of instability indices and certain specific levels allows a better prognosis of dangerous meteorological phenomena and consequently, the safeguard of goods and human lives.

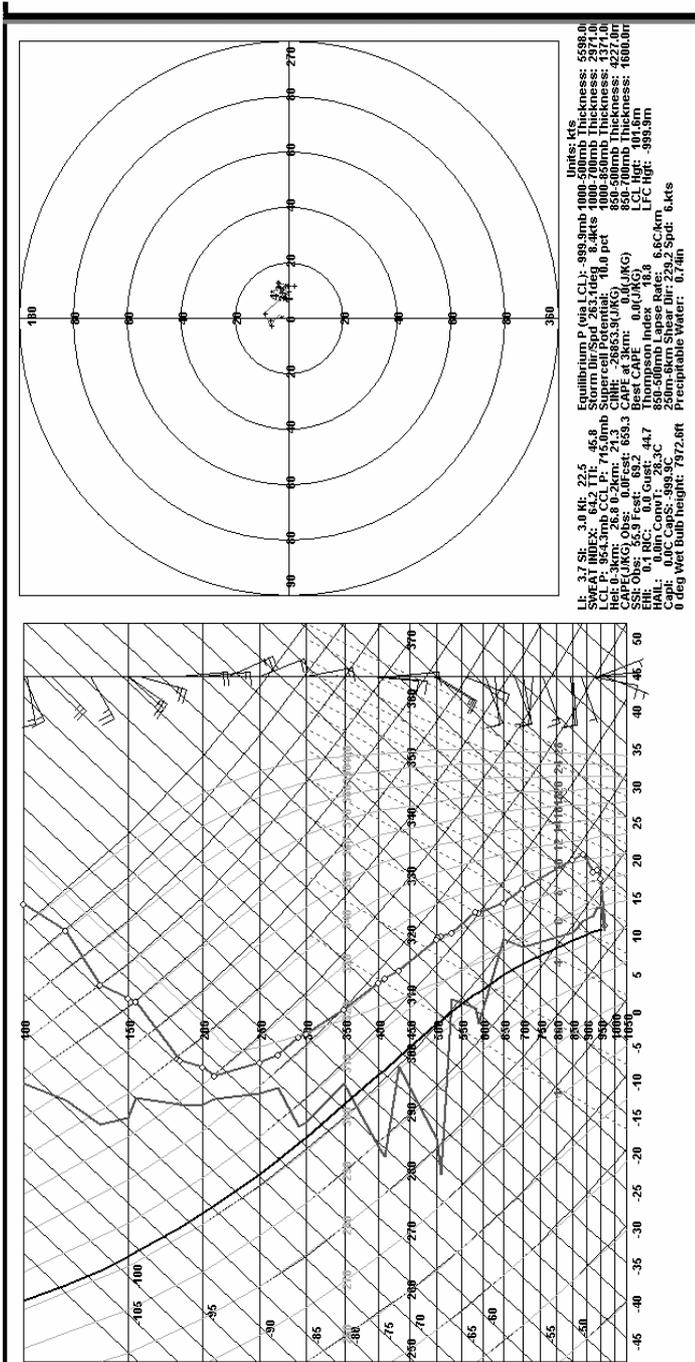
**Key-words :** radioprobing, instability indexes, thunderstorms

### Introduction

Le radiosondage est l'un des instruments de base utilisés par le météorologue pour le pronostic et le diagnostic de différentes formes météorologiques comme le brouillard, la forme et le caractère des précipitations, les températures maximales et minimales, l'épaisseur et le type des nuages, la stabilité ou l'instabilité atmosphérique, etc. À Cluj-Napoca, le radiosondage se réalise depuis 1967, et depuis 1993 avec la station performante Vaissala. Les indices qui se réalisent sur la base des données du sondage ont différentes valeurs qui en fait ne sont pas « des numéros magiques » et qui ne peuvent pas être utilisés indépendamment. Ces indices sont étroitement liés entre eux et leurs valeurs ont une signification différente pour chaque zone géographique. Par conséquent, dans cette étude on a essayé d'étalonner les valeurs de quelques-uns de ces indices pour la zone de la ville de Cluj-Napoca. Les indices ont été choisis de sorte qu'ils puissent être lus sur des émagrammes et calculés à partir de modèles numériques probables.

### 1. Matériels utilisés

On a interprété le diagramme Skew-T (Fig. 1) dont on a déduit les indices significatifs pour le risque d'orages. D'autres indices ont été obtenus sur la base des observations de radiosondage.



5120 -- 0000 UTC 27 OCT LAT: 46.78 LON: 23.57



Fig1 Émagramme SKEW-T logarithmique et tableau des indices calculés.

- *Indice KI* déterminé par des observations de radiosondage :

$$K = \Delta t_{850-500} + [t_{d850} - (t_{700} - t_{d700})], \text{ où}$$

$T_d(850)$  = la température du point de rosée à 850 hPa

- *Indice CTI* déterminé par des observations de radiosondage

$$CTI = T_d(850) - T(500)$$

- *Indice VTI* déterminé par des observations de radiosondage

$$VTI = T(850) - T(500)$$

- *Indice Galway* déduit à partir de l'égramme

- *Indice LI* déduit à partir de l'égramme

- *Indice Showalter, SWI*, déduit à partir de l'égramme

- *Indice SWEAT* déterminé par des observations de radiosondage

$$SWEAT = [12 t_{d850} + 20 (TT - 49) + 2 f_{850} + f_{500} + 125 (s + 0.2)], \text{ où}$$

$t_{d850}$  = le point de rosée à 850mb, TTI= indice TTI,  $f_{850}$ =la vitesse du vent à 850mb en

noeuds,  $f_{500}$ =la vitesse du vent à 500mb en noeuds, s = le sinus de l'angle fait par les directions du vent à 500mb et 850mb-le cisaillement dans cette couche.

- *Indice TTI* en utilisant les données du sondage.

$$TTI = VTI + CTI, \text{ où } VTI = t_{850} - t_{500} \text{ et } CTI = t_{d850} - t_{500}$$

Quelques méthodes de calcul de niveaux spéciaux représentés sur le diagramme sont également utiles pour l'estimation du risque d'orages :

- *le niveau de condensation par soulèvement LCL* (Lifting Condensation Level) situé à l'intersection de l'adiabatique sèche qui passe par le point initial de la courbe d'état avec l'isoligne du rapport de mixage qui part du point initial de la courbe de la température du point de rosée ; LCL représente la base des nuages stratiformes ;

- *le niveau de condensation convective CCL* (Convective Condensation Level) situé à l'intersection de la courbe d'état et de l'isoligne du rapport de mixage qui part du point initial de la température du point de rosée ; CCL représente la base des nuages cumuliformes ;

- *le niveau de convection libre LFC* (Level of free convection) situé à l'intersection entre la droite parallèle à l'adiabatique humide qui part de LCL et le profil de la température ;

- *la température de convection CT* (Convective Temperature) se détermine en descendant de CCL sur l'adiabatique sèche jusqu'au niveau de 1000 mb ;

- *la température maximale du jour* s'établit en descendant sur l'adiabatique sèche du point de température au niveau de 850 mb jusqu'au niveau de départ du sondage.

## 2. Méthodes et résultats

Parmi les indices présentés ci-dessus, on a choisi, en vue du calcul des seuils critiques pour la zone de la ville de Cluj-Napoca, quatre indices, à savoir KI, CTI, VTI et TTI. Ces indices ont été calculés sur une durée de 10 ans, 1990-1999, pour cinq mois (mai, juin, juillet, août et septembre), lorsque les processus convectifs et les phénomènes sévères sont plus denses et ont les valeurs suivantes : La valeur en pourcentage a été obtenue en fonction du nombre de jours avec précipitations pour un intervalle de valeurs des indices proches.

*Interprétation :*

- la valeur VTI est en moyenne supérieure à 25, l'apparition de forts orages a une probabilité de 62 %.

- la valeur TTI :

> 50, l'apparition de forts orages a une probabilité de 74 %.

[45, 50] apparition d'orages modérés avec une probabilité de 64 %.

< 45 apparition d'orages avec une probabilité de moins de 38 %.

- la valeur CTI :

> 24 l'apparition de forts orages a une probabilité de 80 %.

[20, 24] l'apparition d'orages modérés a une probabilité de 67 %.

< 20 l'apparition d'orages a une probabilité de moins de 37 %.

- la valeur KI :

> 35 l'apparition de forts orages, qui ont une probabilité de 95 %.

[30, 35] apparition d'orages modérés avec une probabilité de 85 %.

[25, 30] l'apparition d'orages modérés a une probabilité de 70 %.

< 25 l'apparition d'orages a une probabilité de moins de 50 %.

L'analyse réalisée sur la base des données du radiosondage montre la présence de phénomènes météorologiques extrêmes, mais les indices d'instabilité sont au-dessous des valeurs qui indiquent une grande probabilité de réalisation de ceux-ci ou les phénomènes sont absents, mais l'indice est élevé. Ceci est déterminé par le fait que le sondage se réalise pendant la nuit et les processus convectifs ont lieu et se manifestent surtout pendant la journée. Ainsi, il existe un décalage de quelques heures dans lesquelles il peut se produire quelques modifications essentielles dans les couches d'air de l'atmosphère (advections chaudes, froides ou l'échauffement diurne au sol et l'augmentation ou la réduction de la différence thermique entre les niveaux standard, etc).

L'étalonnage des indices qui peuvent être calculés à partir de modèles numériques de pronostic sera utile dans l'anticipation de quelques heures ou jours de phénomènes météorologiques dangereux qui peuvent avoir lieu dans la zone où l'on a calculé les indices respectifs. L'étude des inversions du sondage aide au pronostic des brouillards ou de l'inhibition des processus convectifs. La connaissance des niveaux des isothermes de  $0^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$  et  $-20^{\circ}$  est utile dans le pronostic de la grêle.

### Conclusions

1. Les indices d'instabilité sont importants pour le pronostic des phénomènes météorologiques dangereux.
2. Les indices sont utiles non seulement utilisés individuellement, mais à côté d'autres éléments pronostiques.
3. Le radiosondage ne peut pas offrir des données sur l'état du ciel (le type de nuages), la température maximale à 2 m que peut atteindre l'air pendant la journée.
4. Le radiosondage est riche en données météorologiques qui sont utilisées comme données d'entrée pour les modèles numériques de pronostic.
5. Cette étude présente seulement une image d'ensemble du radiosondage, car il y a un nombre beaucoup plus grand d'indicateurs.

### Bibliografie

MAIER N., HAIDU I. (2004), Caracteristici ale instabilității termice a atmosferei în zona municipiului Cluj-Napoca. In: *Lucrările Seminarului Geografic „Dimitrie Cantemir”*, Iași.

PAUN I. (2001), Ghid pentru prognoza elementelor meteorologice, *Lucrare pentru obținerea gradului de meteorolog previzionist I. A.N.M. București*.

TRIPLET J. P., ROCHE G. (1986), *Météorologie générale*. E. N. M. Trappes.

## **ANALYSE SAISONNIERE DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN A BADAJOZ (ESPAGNE)**

**L. GARCÍA-BARRÓN<sup>1</sup>, A. SOUSA<sup>2</sup>, V. JURADO<sup>3</sup>, F. ANDRADE<sup>3</sup>,  
J. MORALES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. Física Aplicada II. Universidad de Sevilla. <sup>2</sup> Dpto Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. <sup>3</sup> Consj. Medio Ambiente. Sevilla  
Avda. Reina Mercedes 4, EUAT. 41012. SÉVILLE.  
[leoncio@us.es](mailto:leoncio@us.es)

### **Résumé**

On analyse l'évolution de la série des températures suite au changement de site de l'observatoire de Badajoz du centre ville à la périphérie. Cette méthode permet d'obtenir un indicateur de l'effet de l'îlot de chaleur urbain. Les résultats indiquent qu'un tel effet varie très peu tout au long de l'année et qu'il résulte principalement des températures nocturnes.

**Mots-clé:** radiosondage, indices d'instabilité, orages

### **Abstract**

We analyzed the evolution of the series of temperatures as a result of the transfer of the observatory of Badajoz from the urban center to the outside. This system allows to obtain an indicator of the urban heat island effects. The results indicate that such effect is approximately stable throughout the year and must to the diurnal temperatures mainly.

**Key words:** heat island, urban effect, Badajoz (Spain)

### **Introduction**

Le microclimat urbain et l'îlot de chaleur urbain ont attiré l'attention des climatologues et des chercheurs des sciences de l'environnement. Cet intérêt a eu pour conséquence la réalisation d'études dans la plupart des grandes villes. La démarche méthodologique plus fréquemment utilisée s'appuie sur l'élaboration de transects.

Dans cette étude, on propose une méthode alternative basée sur l'analyse comparative des séries de températures mesurées dans des stations météorologiques proches et bien corrélées entre elles. On montre l'effet que le transfert de l'observatoire de Badajoz (Espagne) situé au centre urbain à un nouvel endroit à l'extérieur a eu sur les mesures de température. Une étude précédente (García-Barrón et al, 2004) avait mis en relief les inhomogénéités produites dans la série de variables météorologiques par le changement de site de l'observatoire. Cette étude avait mis au point une méthodologie permettant de comparer les mesures réelles avec celles qu'on aurait obtenu si un tel changement de site n'avait pas eu lieu. Cependant, ce travail ne rendait pas des conclusions concernant les conséquences du phénomène aux échelles mensuelles ou saisonnières. Avec cette étude, on a donc voulu apporter une analyse intra-annuelle afin de savoir si le réchauffement dû à l'îlot de chaleur est uniforme tout au long de l'année.

## 1. Série météorologique de Badajoz

L'observatoire de Badajoz, situé au Sud-Ouest de la Péninsule Ibérique, est sous l'influence de l'océan Atlantique (38° 53' N; 6° 58' W). Les enregistrements y sont réguliers à partir de 1875 et ils continuent jusqu'en 1985 (avec un changement de la dénomination en Badajoz-Instituto), date à laquelle se produit le changement de site vers le campus universitaire.

L'homogénéité de la longue série thermométrique initiale a été constatée par plusieurs auteurs. Malheureusement, le transfert en 1984 a eu lieu sans période de simultanéité qui nous permette de rapporter directement les données correspondantes des deux observatoires. Le transfert de l'observatoire du centre à la périphérie de la ville doit avoir sans doute des répercussions sur les valeurs mesurées de température.

Afin de garantir la continuité des observations nous nous sommes basés sur la station de la base aérienne proche de Talavera la Real pour laquelle nous avons des données thermiques continues et homogènes depuis 1955.

Badajoz est une ville moyenne (135.000 habitants) située à une altitude peu élevée au bord de la rivière Guadiana. Durant les dernières décennies, elle a connu une augmentation de la population due au développement des activités commerciales et de service. La vieille station météorologique était située dans le Lycée (*Instituto*), au centre de la ville historique. Le nouvel observatoire est à l'extérieur de la ville, dans une zone de bâtiments peu élevés et dispersés parmi les plantations de pin et à côté des régions agricoles. La base aérienne de Talavera est située à environ quinze kilomètres à l'est, au milieu d'une vallée fertile d'irrigation.

## 2. Méthodologie et résultats

Premièrement nous avons déterminé s'il est méthodologiquement correct de choisir la série de Talavera comme référence pour l'analyse de la série de Badajoz. On a adopté comme critère pour ce choix l'existence d'une corrélation élevée entre les séries des deux observatoires. Le tableau 1 présente les coefficients de corrélation de Pearson pour la série thermométrique moyenne saisonnière de températures maximales et de températures minimales, pendant la période de simultanéité 1955-1984.

Tableau 1. Coefficients de corrélation des températures maximales et des températures minimales Badajoz-Talavera (1955/1983)

|                    | <b>Automne</b> | <b>Hiver</b> | <b>Printemps</b> | <b>Été</b> |
|--------------------|----------------|--------------|------------------|------------|
| <b><i>Tmax</i></b> | 0.998          | 0.975        | 0.994            | 0.972      |
| <b><i>Tmin</i></b> | 0.986          | 0.970        | 0.969            | 0.934      |

La forte corrélation observée entre les éléments des deux séries autorise donc le choix de Talavera en tant que série de référence pour l'extrapolation de la série de Badajoz-Instituto, cela aussi bien pour les températures minimales que maximales.

On a donc extrapolé les séries mensuelles de Badajoz à partir des droites de régression (construites avec la méthode des moindres carrés) issues des données de températures moyennes mensuelles de Talavera et de Badajoz-Instituto correspondant à la période de simultanéité.

Les séries des températures saisonnières sont obtenues à partir des valeurs correspondantes des températures mensuelles. L'espace limité de cet article nous oblige à présenter uniquement l'analyse faite à l'échelle saisonnière, bien qu'elle puisse également s'appliquer aux séries mensuelles. On considère que les nouvelles valeurs générées s'approchent de celles qui auraient été mesurées sans l'intervention du changement de site.

Figure 1 : Série de la température minimale de l'automne et de l'extrapolation homogène

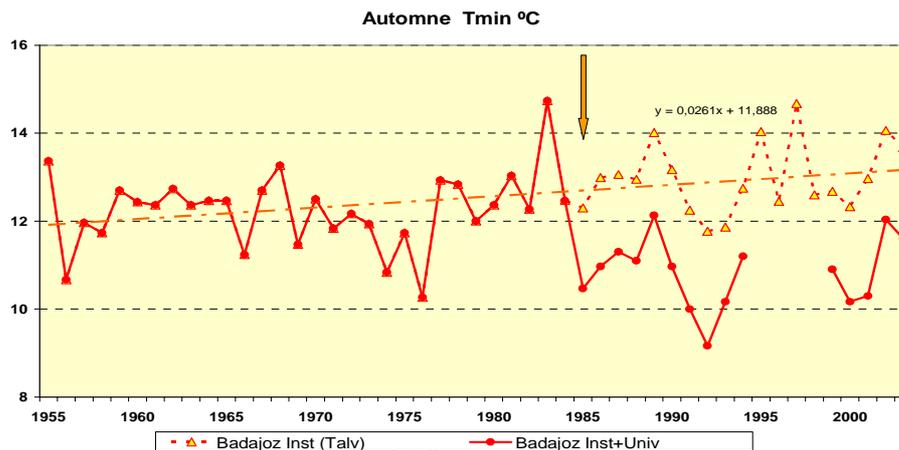
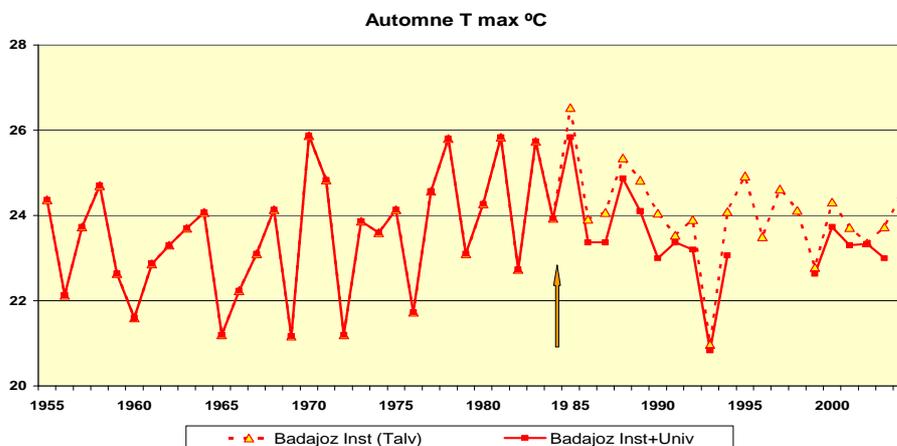


Figure 2 : Série de la température maximale de l'automne et de l'extrapolation homogène



La figure 1 montre l'évolution des températures minimales de l'automne à Badajoz depuis 1955. À partir de 1984, date du changement de site, on observe une divergence. La courbe supérieure en trait pointillé représente les températures extrapolées pour Badajoz à partir de celles mesurées à Talavera. La ligne droite qui montre la pente positive de tendance lui a été superposée. Ce résultat est en accord avec le réchauffement des températures minimales dans le sud-ouest de la péninsule ibérique. La courbe inférieure représente les températures effectivement mesurées au nouvel endroit à Talavera (pas de données enregistrées de 1995 à 1998). On observe que les deux courbes ont une évolution semblable, mais avec des écarts de températures appréciables entre elles. La figure 2, analogue à la précédente, montre l'évolution des températures maximales de l'automne.

La comparaison entre les figures 1 et 2 permet de constater, d'une part, que la variabilité interannuelle est plus élevée pour les températures maximales et, d'autre part, que les différences après le changement de site sont nettement plus faibles pour les températures maximales que minimales. On en déduit que le changement de site intervenu en 1984 affecte surtout les températures minimales.

Tableau 2.- Différences saisonnières témoignant de l'effet de l'îlot de chaleur urbain, appliquées aux températures minimales et aux températures maximales

|             | Automne | Printemps | Hiver | Été  |
|-------------|---------|-----------|-------|------|
| <i>Tmax</i> | 2.0     | 1.9       | 1.9   | 2.1  |
| <i>Tmin</i> | 0.54    | 0.56      | 0.64  | 0.50 |

Le tableau 2 montre ces différences des minima et maxima pour toutes les saisons. Ces différences entre les valeurs extrapolées des températures en ville et les températures mesurées en périphérie sont de 2 °C environ pour les températures minimales et seulement de 0,5 °C pour les températures maximales. Ces écarts de températures témoignent de l'importance de l'effet produit par l'îlot de chaleur à l'intérieur des villes. On remarque aussi que ces écarts de températures varient très peu d'une saison à l'autre.

### Conclusions

La méthodologie employée dans cette étude sur l'îlot de chaleur urbain est fondée sur l'analyse des différences entre les mesures effectuées dans des observatoires situés à l'intérieur de la ville et celles enregistrées à la périphérie.

Les résultats obtenus montrent qu'on n'observe pas d'anomalies du comportement interannuel, ce qui permet d'affirmer que l'effet thermique urbain à Badajoz est approximativement le même pour les 4 saisons de l'année.

On détecte des écarts plus grands pour les températures minimales que maximales entre les zones urbaines et la campagne. On en déduit que l'effet de l'îlot de chaleur dans les villes résulte principalement des températures nocturnes, tandis que les différences de températures diurnes entre la campagne et la ville sont plus faibles.

### Bibliographie

L GARCÍA-BARRÓN, M GONZALEZ, A RAMÍREZ 2004. "Influencia del efecto urbano: inhomogeneidad y sistema de conversión de las series de temperatura en Badajoz" *Revista de Climatología*. Vol 4:1-7

## **EVOLUTION THERMIQUE ET APPORT DES DONNEES LANDSAT-7 POUR LA THERMOGRAPHIE DE SURFACE DE L'AGGLOMERATION URBAINE DE CURITIBA – BRESIL**

**F. MENDONCA**

*Dep. Geografia – Lab. Climatologia – UFPR. Brésil.  
(CHICO@UFPR.BR)*

**V. DUBREUIL**

*COSTEL UMR 6554 CNRS (LETG) - UHB Rennes 2. France.  
(VINCENT.DUBREUIL@UHB.FR)*

### **Résumé.**

Cette étude met en évidence la relation entre la thermographie de la surface et la température de l'air pendant hiver 2002 dans la Région Métropolitaine de Curitiba (Brésil), à partir de données satellitaires (Landsat TM Canal 6) et de données météorologiques.

**Mots-clefs.** Thermographie - température de l'air – Curitiba – Brésil.

### **Abstract.**

This study shows the analysis between the surface thermography and the air temperature on winter 2002 at Curitiba's Metropolitan Region (Brazil). The analysis is based on the satellite datas (Landsat TM Channel 6) and conventional meteorological datas.

**Key words.** Thermography – air temperature – Curitiba - Brazil.

### **Introduction.**

Située dans la partie Sud du Brésil (Figure 1), Curitiba est devenue une des villes les plus célèbres du pays ces trente dernières années. La mise en place d'une planification urbaine depuis les années soixante-dix, son suivi, et la diffusion des images très positives de la ville (city marketing) ont attiré beaucoup d'entreprises et d'immigrants qui s'y sont installés pendant cette période. Ce flux migratoire est devenu de plus en plus important, ce qui a énormément dynamisé l'urbanisation / industrialisation régionale.

La ville de Curitiba, qui comptait environ 609.000 habitants en 1970, atteint 1.024.000 en 1980, 1.313.000 en 1990, et dépasse 1.700.000 actuellement. La région métropolitaine dont elle est le pôle (RMC - Région Métropolitaine de Curitiba) compte environ 2.600.000 habitants, tandis que la population de l'agglomération urbaine (regroupant six communes) est d'environ 2.300.000 habitants. Cette croissance urbaine très rapide, qui reproduit de près le processus d'urbanisation brésilien, entraîne d'importantes altérations des conditions climatiques locales (climat tropical d'altitude – Cfa et Cfb de la classification de W. Köppen – dominé par les masses d'air tropical et extra-tropical) et crée un climat urbain particulier.

Le climat urbain met en évidence les changements environnementaux dus aux activités humaines et il est le résultat de l'interaction entre la société et la nature dans la ville (Oke, 1978 ; Monteiro et Mendonça, 2003). Dans des régions métropolitaines il est aussi possible d'identifier l'importante différenciation de paysages intra urbains, ce qui est particulièrement remarquable dans la RMC - Région Métropolitaine de Curitiba – analysée ici.

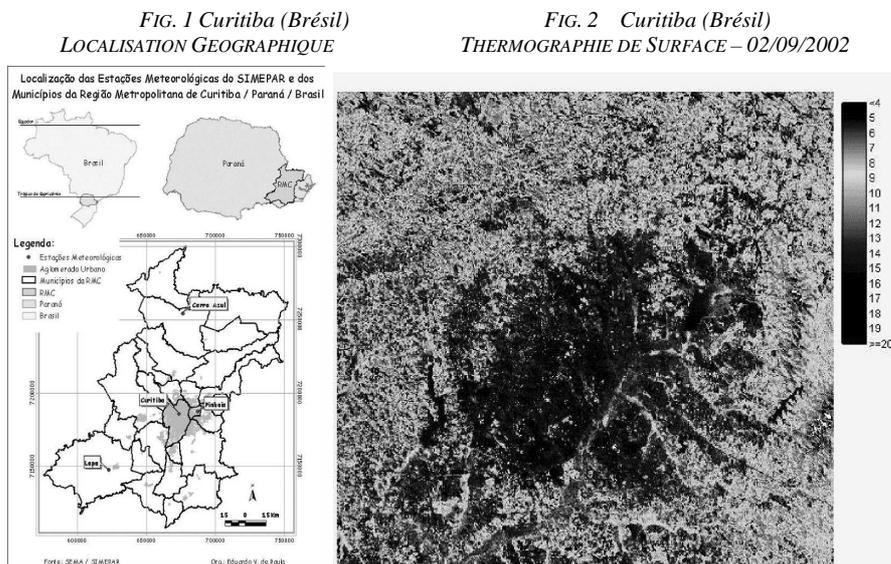
## 1. Méthodes et techniques de l'étude.

Pour cette analyse, nous avons utilisé les données de quatre stations météorologiques (urbaines et rurales de la RMC - Tableau 1 - Figure 1) et une image LANDSAT 7 ETM du mois de septembre 2002 (Figure 2).

Tableau 1 – RMC - Région Métropolitaine de Curitiba/Brésil –  
Localisation géographique des stations météorologiques

| Villes            | Site       | Latitude  | Longitude | Altitude |
|-------------------|------------|-----------|-----------|----------|
| Curitiba          | Urbain     | -25.43330 | -49.2666  | 935.00   |
| <b>Pinhais</b>    | Périurbain | -25.41670 | -49.1333  | 930.00   |
| <b>Cerro Azul</b> | Rural      | -24.81660 | -49.2500  | 366.00   |
| <b>Lapa</b>       | Rural      | -25.78330 | -49.7666  | 909.80   |

Les données météorologiques ont été traitées sous Excel et ont permis l'analyse de l'évolution de types de temps qui ont précédé la prise de l'image – analyse rythmique des types de temps (Monteiro, 1971). Les conditions atmosphériques (à 1,5 m) ont été analysées à partir des données de quatre stations météorologiques (sites urbains, périurbains et ruraux) de la RMC (Tableau 1).



L'image satellite utilisée est la scène Landsat 7 ETM+ du 2 septembre 2002 (WRS 220/078) prise vers 10h30 locales. Elle a été acquise auprès du service Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). Pour cette image l'ensemble des canaux Landsat est disponible à une résolution de 30 mètres. Cependant, pour cette étude nous avons choisi d'utiliser la bande 6 (infrarouge thermique à 60 mètres de résolution spatiale) afin de montrer la répartition des surfaces chaudes et froides dans l'agglomération. Les comptes numériques ont été convertis (sous le logiciel IDRISI) en températures de brillance en utilisant les coefficients d'étalonnage fournis avec l'image. Aucune correction atmosphérique n'a été appliquée sur cette image. L'utilisation du sol de la RMC a été mise en évidence à partir d'une composition colorée de trois canaux (4, 5, 3) de l'image LANDSAT, à partir de laquelle il a été possible d'identifier les différents paysages intra urbains (Mendonça et Dubreuil, 2002) de l'agglomération urbaine étudiée.

## 2. Thermographie de surface et température de l'air de la RMC.

L'analyse des conditions climatiques - thermiques montrent que dans la ville de Curitiba la température moyenne augmente progressivement depuis les années 1950 (d'environ 1,5° C), ce qui a été observé aussi dans une autre ville de la région située dans une zone protégée et dont l'urbanisation n'a pas subi beaucoup de changements dans la même période (Mendonça, 2001). Il a donc été possible de constater que le réchauffement régional et local est en accord avec les observations du réchauffement à l'échelle globale (IPCC, 2005). Toutefois, quand on compare les températures intra urbaines de l'agglomération urbaine de Curitiba avec les alentours, il est possible d'observer l'effet de l'urbanisation, de l'industrialisation, de la densité du couvert végétal et de la topographie sur la thermographie locale.

La date de l'image analysée correspond à la fin de la saison hivernale de l'Hémisphère Sud, ce qui se traduit par des températures plus faibles que la normale (entre 16°C et 20°C) et la réduction de l'humidité de l'air (la moyenne est d'environ 80%) dans la RMC. La masse d'air polaire atlantique (Mpa) domine la dynamique des types de temps pendant cette période de l'année.

Sur l'image satellite il est possible d'observer que la tache urbaine apparaît (*Figure 2*), en général, plus chaude et moins humide que la zone rurale voisine (la surface urbaine forme comme un îlot de chaleur dans la région) et, de manière plus détaillée, une très nette différenciation de température à l'intérieur de l'agglomération urbaine (différents paysages intra-urbains – archipel d'îlots de chaleur urbaine) et de la zone périurbaine. Dans l'agglomération les températures de surface montrent une variation de l'ordre de 10°C à 20°C, soit une amplitude thermique d'environ 10°C. L'analyse révèle une mosaïque complexe des températures de surface qui correspond à l'utilisation du sol et à la planification urbaine appliquée à la ville de Curitiba : en effet, les axes de transports qui structurent l'agglomération, tout comme la zone industrielle, sont facilement observables sur les images thermiques et d'utilisation du sol.

Dans la campagne voisine la température de surface varie de 4°C à 20°C, donc une plus importante amplitude thermique révélatrice de l'hétérogénéité du couvert végétal, les plus basses températures correspondant aux endroits les plus couverts par la végétation et les reliefs les plus importants. L'agglomération urbaine, au contraire, montre une plus grande homogénéité thermique, résultat de la faible couverture végétale et de la prédominance de matériaux anthropiques dans le bâti urbain.

Les données satellitaires et les données météorologiques montrent la formation, au moment de la prise de l'image, d'un fort contraste entre la température de surface et la température de l'air (1,5m). L'analyse de l'image montre la formation d'un îlot de chaleur urbaine, dont les températures de surface varient d'environ 10°C sur la zone bâtie de la ville, tandis que l'air y est encore, dans la matinée, plus frais que la surface. Sur l'agglomération urbaine on observe la formation d'un îlot de fraîcheur à 1,5m, dont la température est d'environ 3°C plus faible que celle de la zone rurale voisine.

L'analyse rythmique des types de temps a montré que la portion Nord de la région étudiée était plus chaude, d'où la formation d'un gradient thermique négatif de direction nord-sud. L'air froid de la MPA (Masse d'air Polaire Atlantique), qui dominait la région, présentait une plus forte tendance à tropicalisation dans cette partie de la RMC.

L'analyse effectuée montre que le réchauffement a été plus rapide et plus important sur la surface que dans l'air, ce qui met en évidence les différentes phases du bilan radiatif entre la propagation du rayonnement solaire et la surface de la Terre. Le sol et l'air, relativement secs aussi bien dans la zone urbaine que rurale, ont conduit à une importante variation spatiale de la température et à une considérable amplitude thermique au cours de cette journée.

### Conclusions.

La température de l'air est le résultat d'une combinaison de plusieurs facteurs. La plus importante est l'hétérogénéité de l'utilisation du sol en milieu urbain, en comparaison avec la surface rurale,

d'où une très importante variation du champ thermique dans la ville. C'est pourquoi on peut parler d'îlots de chaleur et de fraîcheur, mais aussi d'archipels d'îlots de chaleur et / ou de fraîcheur urbains, en même temps.

Mais l'hétérogénéité des paysages intra-urbains se présente aussi sur une plus grande échelle que les paysages ruraux. Sur l'image satellite LANDSAT TM, notamment sur le canal 6, le paysage rural de la RMC a présenté une plus importante hétérogénéité par rapport à l'agglomération urbaine plus homogène également sur le plan thermique. Dans une situation typiquement hivernale comme le 02 septembre 2002, l'air de la ville apparaît plus frais que la surface en milieu de matinée.

### **Références bibliographiques.**

IPCC – INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

MENDONCA, F. (2001). Clima e criminalidade : Ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência de criminalidade urbana. Curitiba/PR : Ed. UFPR.

MENDONCA, F. et DUBREUIL, V. (2002). L'étude du climat urbain au Brésil : Etat actuel et contribution de la télédétection. In : DUBREUIL, V. et MARCHAND, J-P. (Org.). (2002). Rennes : PUR, pg ; 135-146.

Monteiro, C. A. F. (1971). Análise rítmica em climatologia. Problemas da atualidade climática em São Paulo e Achegas para um programa de trabalho. São Paulo: IGEO/ Universidade de São Paulo,. (Climatologia 1).

MONTEIRO, C. A. F. e MENDONCA, F. (2003). Clima urbano. São Paulo : Editora Contexto.

OKE, T. 1978. Boundary layer climate. London : Methuen & Ltda.

## RELATION ENTRE LES INDICES BIOCLIMATIQUES ET LA CONCENTRATION ATMOSPHÉRIQUE DE SPORES DE DEUTEROMICETES À SÉVILLE (ESPAGNE).

J. MORALES <sup>(1)</sup>, P. CANDAU <sup>(1)</sup>, F. GONZÁLEZ-MINERO <sup>(1)</sup>, L. GARCÍA-BARRÓN <sup>(2)</sup> et  
A. SOUSA <sup>(1)</sup>

1. *Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, C/ Profesor García González, 2. 41012 Sevilla. Espagne.*

2. *Departamento de Física Aplicada II. E.U.A.T., Universidad de Sevilla, Avda. de Reina Mercedes, Sevilla. Espagne.*  
[jmorales@us.es](mailto:jmorales@us.es); [candaufm@us.es](mailto:candaufm@us.es); [minero@us.es](mailto:minero@us.es); [leoncio@us.es](mailto:leoncio@us.es); [asousa@us.es](mailto:asousa@us.es)

### Résumé

Ce sont les relations entre les indices bioclimatiques et les spores de Deutéromycètes (champignons imparfaits), dans la ville de Séville, qui ont fait l'objet de notre étude. L'objectif était de vérifier si l'utilisation de ces champignons constituerait un atout pour l'élaboration de modèles qui prédisent la concentration de ses spores dans l'atmosphère. Des associations sont apparues avec la plupart des indices bioclimatiques, les meilleures étant celles qui ont présenté des indices basés sur la température et l'évapotranspiration.

**Mots-clés:** Indices bioclimatiques, variables climatiques, spores, champignon imparfait, Séville.

### Abstract

The relationship among the climate variables and the bioclimatic indices with the spores of Deuteromycetes (Fungi Imperfecti) in the city of Seville has been studied with the aim of testing if the use of the latter would be an advantage to the model making in order to forecast the spores concentration in the atmosphere. Intense relations with most of the bio-climatic indices were found, the best of them were those based upon temperature and evapotranspiration

**Key words:** Bioclimatic indices, climate variables, spores, fungi imperfecti, Seville.

### Introduction

Des spores de champignons imparfaits sont en permanence présents dans l'air et peuvent engendrer des maladies respiratoires chez certaines personnes. Selon Gravensen (1979) elles peuvent affecter plus de 30% de la population allergique. Les cultures agricoles sont également affectées par des maladies produites par la germination des spores de champignons imparfaits, ce qui peut occasionner de grandes pertes en termes économiques.

La concentration des spores dans l'air est influencée par un grand nombre de facteurs biologiques et environnementaux, parmi lesquels les variables climatiques, tous ces facteurs interagissant de telle manière que chaque localité présente sa propre aéromicroflore.

Valencia-Barrera et al. (2002) ont démontré que les indices bioclimatiques pourraient être un outil très efficace au moment de réaliser des prévisions polliniques, et dans cette étude nous avons souhaité vérifier s'ils le sont aussi quand nous les appliquons aux spores des champignons imparfaits.

L'obtention de modèles prédictifs qui nous permettraient de connaître à l'avance le contenu fongique de l'atmosphère d'un endroit déterminé, donnerait la possibilité de prévoir l'apparition de maux fongiques et de réduire ainsi l'utilisation de fongicides. De plus, d'un point de vue clinique, l'allergologue serait en mesure de réaliser un diagnostic correct, d'avoir un usage plus rationnel de la médication et surtout de délivrer des thérapies préventives.

### 1. Méthodologie

La station d'échantillonnages est localisée à Séville, ville qui présente un climat méditerranéen avec une nuance continentale, caractérisé par des hivers doux et un manque de neige et de gelées, et des étés extrêmement chauds. La température moyenne des minimas du mois le plus froid est de 5°C, la

température moyenne des maxima du mois le plus chaud est de 35°C et les précipitations moyennes sont de 534 mm.

Les indices bioclimatiques que nous avons associés à la concentration de spores dans l'air sont basés sur les échanges d'eau entre les végétaux et l'atmosphère (évapotranspiration), sur la relation entre la température et la disponibilité en eau, et sur la productivité primaire en fonction de paramètres météorologiques comme la température, les précipitations ou l'évapotranspiration. Concrètement, nous avons utilisé: la formule de Blaney et Criddle ( $ETE_T$ ), qui selon Chamayou (1994) est adaptée au climat méditerranéen, la formule de Turc ( $ETE_{T,P}$ ), le facteur de pluie de Lang (RF), l'indice d'aridité de Martonne (AI), le quotient pluviométrique d'Emberger (PR), le diagramme des bilans hydriques mensuels de Thornwaite (HB), l'évaluation de la productivité primaire des climats de Lieth y Whittaker, et les indices de continentalité (CI), de thermicité (TI) ombrothermique (OI) de Rivas-Martínez et al. (C.E.O.T.M.A., 1984).

Pour réaliser l'échantillonnage, à partir des spores, nous avons choisi une méthode volumétrique en milieu inerte, suivant les critères du Réseau Espagnol d'Aérobiologie (R.E.A.; Dominguez et al., 1991). L'échantillonnage a été réalisé pendant deux ans consécutifs (1997 et 1998), en calculant les concentrations quotidiennes de différents genres de Deutéromycètes (*Alternaria*, *Arthrinium*, *Aspergillaceae*, *Asperisporium*, *Botrytis*, *Cercospora*, *Cladosporium cladosporioides*, *Cladosporium herbarum*, *Curvularia*, *Deightoniella*, *Drechslera-Helminthosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Fusicladium*, *Nigrospora*, *Oidium*, *Paecilomyces*, *Pithomyces*, *Stachybotris*, *Stemphylium* et *Torula*).

Les paramètres météorologiques ont été fournis par l'Institut National de Météorologie. Sur les données de concentration de spores obtenues et les valeurs calculées des indices bioclimatiques, nous avons réalisé un test de Spearman et une analyse de régression step-wise.

## 2. Résultats et discussion

Les spores des champignons imparfaits sont celles qui présentent une plus grande concentration dans l'atmosphère de Séville, autour de 85% (Morales, 2004), et de la même manière, elles sont les plus abondantes dans la majeure partie du monde (Vittal et Krishnamoorti, 1988; Palma et Consentino, 1990; Rutherford, 1997). En outre, elles sont d'une grande importance de par leur capacité à produire des troubles allergiques chez l'homme et diverses pathologies dans les cultures. Quand on met en rapport les indices bioclimatiques et les concentrations de ces spores de Deutéromycètes, nous obtenons, en général, des corrélations significatives pour la plupart de ceux-ci (voir Tableau 1). C'est seulement avec *Aspergillaceae*, *Botrytis*, *Cercospora* et *Curvularia* que l'on n'obtient aucun type de relation.

Ainsi, la formule de Blaney et Criddle, le diagramme des bilans hydriques mensuels de Thornwaite, l'indice de Lieth et Whittaker ( $PP_{etp}$ ) et celui de la thermicité, ont été ceux qui ont obtenu les meilleures corrélations, s'associant positivement avec la plupart des types analysés, sauf pour *Fusarium* et *Paecilomyces* avec lesquels une corrélation négative a été obtenue.

L'indice de Turc, de Martonne, le facteur de pluviosité de Lang, le quotient pluviométrique d'Emberger, l'évaluation de la productivité primaire de Lieth et Whittaker ( $PP_p$  y  $PP_i$ ) et l'indice ombrothermique ont tous eu un comportement très similaire, présentant une corrélation négative avec *Arthrinium*, *Asperisporium*, *Deightoniella*, *Pithomyces*, *Stachybotris* et *Torula*, alors qu'elle a été positive avec *Fusarium* et *Paecilomyces*.

Avec l'indice de continentalité, des corrélations positives ont été obtenues pour *Arthrinium*, *Asperisporium*, *Oidium* et *Torula*, et négatives pour *Fusarium* et *Paecilomyces*.

C'est pourquoi les spores de Deutéromycètes s'associent avec les indices bioclimatiques de manière similaire. Seuls *Fusarium* et *Paecilomyces* contredisent cette constatation en manifestant un comportement hivernal favorisé par une diminution des températures et par la présence de pluies.

| Tipo                 | ETE <sub>T</sub> | ETE <sub>TP</sub> | RF     | AI         | PR     | HB     | PP <sub>ETP</sub> | PP <sub>P</sub> | PP <sub>T</sub> | CI     | TI    | OI     |
|----------------------|------------------|-------------------|--------|------------|--------|--------|-------------------|-----------------|-----------------|--------|-------|--------|
| <i>Alternaria</i>    | ,53**            | -,06              | -,15   | -,12       | -,14   | ,37    | ,53**             | -,06            | -,67**          | ,09    | ,67** | -,15   |
| <i>Arthriniium</i>   | ,77**            | -,75**            | -,78** | -<br>,76** | -,80** | ,83**  | ,77**             | -,75**          | -,67**          | ,84**  | ,67** | -,78** |
| <i>Asperisporium</i> | ,62**            | -,46*             | -,49*  | -<br>,47*  | -,50*  | ,58**  | ,62**             | -,45*           | -,55**          | ,52**  | ,55** | -,49*  |
| <i>C.cladospor.</i>  | ,74*             | -,15              | -,23   | -,20       | -,22   | ,35    | ,47*              | -,13            | -,63**          | ,14    | ,63** | -,23   |
| <i>C.herbarum</i>    | ,73**            | -,34              | -,39   | -,37       | -,40   | ,58**  | ,73**             | -,33            | -,76**          | ,29    | ,76** | -,39   |
| <i>Deightoniella</i> | ,70**            | -,38              | -,43*  | -<br>,41*  | -,43*  | ,60**  | ,71**             | -,38            | -,64**          | ,32    | ,64** | -,43*  |
| <i>Drechs.-Helm.</i> | ,56**            | -,25              | -,33   | -,29       | -,33   | ,44*   | ,56**             | -,24            | -,59**          | ,21    | ,59** | -,33   |
| <i>Epiccocum</i>     | ,52**            | -,15              | -,24   | -,20       | -,22   | ,39    | ,53**             | -,14            | -,68**          | ,14    | ,68** | -,24   |
| <i>Fusarium</i>      | -,52**           | ,63**             | ,62**  | ,63**      | ,62**  | -,59** | -,52**            | ,63**           | ,41*            | -,57** | -,41* | ,62**  |
| <i>Fusicladium</i>   | ,45*             | -,22              | -,23   | -,22       | -,23   | -,38   | ,45*              | -,22            | -,38            | -,25   | -,38  | -,23   |
| <i>Nigrospora</i>    | ,29              | -,21              | -,29   | -,25       | -,28   | ,24    | ,29               | -,19            | -,50*           | ,17    | ,50*  | -,29   |
| <i>Oidium</i>        | ,53**            | -,29              | -,32   | -,29       | -,35   | ,42*   | ,53**             | -,27            | -,60**          | ,51*   | ,60** | -,32   |
| <i>Paecilomyces</i>  | -,62**           | ,41*              | ,39    | ,41*       | ,40    | -,54** | -,62**            | ,41*            | ,46*            | -,45*  | -,46* | ,39    |
| <i>Pithomyces</i>    | ,71**            | -,50*             | -,55** | -<br>,53** | -,54** | ,66**  | ,71**             | -,50*           | -,61**          | ,34    | ,61** | -,55** |
| <i>Stachybotris</i>  | ,65**            | -,36              | -,42*  | -,40       | -,41*  | ,58**  | ,65**             | -,36            | -,65**          | ,34    | ,65** | -,42*  |
| <i>Stemphylium</i>   | ,55**            | -,19              | -,26   | -,22       | -,25   | ,41*   | ,55**             | -,17            | -,60**          | ,12    | ,60** | -,26   |
| <i>Torula</i>        | ,52**            | -,56**            | -,59** | -<br>,58** | -,60** | ,61**  | ,52**             | -,57**          | -,38            | ,59**  | ,39   | -,59** |

Tableau 1: Coefficient de corrélation de Spearman entre les indices bioclimatiques et la concentration de spores.  
(\*\* = corrélation significative au niveau de 0,01; \* = corrélation significative au niveau de 0,05).

Une fois connus les corrélations entre spores et indices bioclimatiques, nous avons réalisé une série d'analyses de régression qui nous a fourni un total de 11 équations dont 6 nous ont expliqué plus de 50% de la variabilité de la concentration des spores. Nous avons obtenu ces équations avec les types suivants: *Deightoniella* (79 %), *Cladosporium herbarum* (78 %), *Cladosporium cladosporioides* (74 %), *Drechslera/Helminthosporium* (73 %), *Stemphylium* (66 %) et *Arthriniium* (63 %). L'indice qui est intervenu dans le plus grand nombre d'équations est celui de la productivité primaire de Lieth et Whittaker, calculé en utilisant la température moyenne.

## Conclusion

Avec les spores étudiées nous avons obtenu des coefficients de corrélation très similaires, tant pour les variables météorologiques (Morales et al., 2004), que pour les indices bioclimatiques. Les indices qui ont présenté les coefficients les plus élevés sont l'indice de thermicité et celui de productivité primaire calculé en fonction de la température. En général, une augmentation des températures va favoriser autant la production que la libération de ces spores dans l'atmosphère, c'est pourquoi nous pouvons dire que les meilleures relations sont obtenues avec les indices qui se basent sur la température et l'évapotranspiration.

De tout ce que nous avons vu antérieurement, on peut déduire que les variables météorologiques et les indices bioclimatiques sont des outils de grand intérêt pour développer des modèles prédictifs qui nous permettraient de connaître par avance la concentration de spores dans l'air. Pourtant il nous faut encore améliorer la construction de ces indices pour les adapter à la physiologie des champignons imparfaits, et de cette manière obtenir des modèles prédictifs encore plus ajustés.

**RÉFÉRENCES**

- C.E.O.T.M.A., 1984: *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- CHAMAYOU, H., 1994: *Éléments de Bioclimatologie*. Techniques vivantes. Presses Universitaires de France, Paris.
- DOMÍNGUEZ VILCHES, E., GALAN, C., VILLAMANDOS, F. et INFANTE, F., 1991: *Handling and evaluation of the data from the aerobiological sampling*. Monografía REA/EAN. Universidad de Córdoba.
- GRAVESEN, S., 1979: Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy* 34: 135-154.
- MORALES, J., 2004: *Estudio Aerobiológico de las esporas de hongos en la atmósfera de Sevilla y su relación con las variables climáticas*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- MORALES, J., CANDAU, P. et GONZÁLEZ-MINERO, F., 2004: Relación entre la concentración de algunas esporas fúngicas en el aire de Sevilla (España) y los índices bioclimáticos. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología A4*: 671-680.
- PALMAS, F. et CONSENTINO, S., 1990: Comparison between fungal airspore concentration at two different sites in the south of Sardinia. *Grana* 29: 87-95.
- RUTHERFORD, S., OWEN, J.A.K et SIMPSON, R.W., 1997: Survey of airspora in Brisbane, Queensland, Australia. *Grana* 36: 114-121.
- VALENCIA-BARRERA, R.M, COMTOIS, P. et FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, D.,: 2002: Bioclimatic indices as a tool in pollen forecasting. *International Journal of Biometeorology* 46: 171-175.
- VITTAL, B.P.R et KRISHNAMOORTHY, K., 1988: A census of airborne mold spores in the atmosphere of the city of Madras, India. *Annals of Allergy* 60: 99-101.

## **BRAZZAVILLE, EVOLUTION CLIMATIQUE OU EFFET DE L'URBANISATION ?**

**G. SAMBA et N. OVOUA**

*Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Université Marien Ngouabi  
BP 3069 Brazzaville – Congo  
e-mail : crth\_umng@yahoo.fr*

**Résumé :** L'analyse statistique des longues séries de mesures des températures minimales et maximales des stations de Brazzaville, met en évidence une tendance significative à une hausse des températures en moyenne de 1,1°C pour la période 1950-1998. Bien que, certains processus non climatiques puissent influencer sur l'augmentation des températures (le changement de localisation de la station, le changement d'observateur), doivent être pris en compte. Cette hausse des températures observées semble résulter de l'effet de l'urbanisation de la ville de Brazzaville. Pour détecter l'effet de l'urbanisation dans les séries nous avons extrait des séries, la composante globale ou régionale. Le test de Mann-Kendall, appliqué sur les séries des différences entre les températures maximales et minimales moyennes annuelles, montre une baisse des amplitudes à la suite d'une augmentation des minima. Cette tendance à la baisse des amplitudes résulterait de l'augmentation des températures minimales due à l'effet possible de l'urbanisation.

**Mots – clés:** Agglomération de Brazzaville, Climat urbain, Augmentation des températures

**Abstract:** The statistical analysis of the long series of measures of the minimal and maximal temperatures of the stations of Brazzaville, puts in evidence a significant tendency to an increase of the temperatures on average of 1,1°C for period 1950-1998. Although, not climatic processes can influence the increase of the temperatures (the change of localization of the station, observer's change), must be taken into account. This increase of the observed temperatures seems to result from the effect of the urbanization of the city of Brazzaville. To detect the effect of the urbanization in the series we extracted series, global or regional constituent. The test of Mann-Kendall, applied to the series of the differences between the annual average maximal and minimal temperatures, shows a decline of the amplitudes following an increase of minima. This falling trend of the amplitudes would result from the minimal increase of the temperatures due to the possible effect of the urbanization.

**Keys words:** Brazzaville city, Urban climate, Increase of the temperatures

### **1. Cadre de l'étude et problématique**

Les travaux de ces trois dernières décennies sur les variations climatiques ont tenté de montrer l'influence éventuelle de l'homme sur le climat. L'agglomération urbaine de Brazzaville située sur la rive droite du fleuve Congo en aval du Stanley Pool, avec une superficie de 100 km<sup>2</sup> connaît une évolution climatique très influencée par les activités humaines. Le climat moyen de Brazzaville est de type tropical humide, caractérisé par deux principales saisons (pluvieuse et non pluvieuse), des températures moyennes de 25°C et une humidité relative de l'air très élevée souvent supérieure à 60% tout au long de l'année. La saison pluvieuse inclue les mois d'octobre à mai avec une petite récession pluviométrique de décembre, janvier et février. La grande saison non pluvieuse va de juin à septembre. Le total des précipitations annuelles moyenne est de l'ordre de 1400 mm. Les précipitations de ces dernières années prennent le caractère d'averses de plus en plus violentes. Actuellement, on note une augmentation des températures de l'air. Il est difficile, dans le cas de l'agglomération de Brazzaville de n'attribuer cette évolution qu'au processus climatiques naturels. Cette augmentation des températures est en grande partie attribuée essentiellement aux activités humaines. Certains processus non climatiques, tel que l'urbanisation et le changement de localisation de la plupart des stations, doivent être pris en compte.

**Les données** utilisées pour cette étude sont les valeurs annuelles des températures minimales et maximales de Brazzaville. Elles proviennent du réseau de la Météorologie Nationale du Congo. Ces données ont, après vérification et critiques, été intégrées dans la base des données du Centre de recherches sur les Tropiques Humides (CRTH) de l'Université Marien Ngouabi de Brazzaville (Congo).

## 2. Tendence climatique ou effet d'urbanisation

### 2.1. La tendance climatique

Pour analyser les données de températures maximales et minimales nous avons tout d'abord extrait la tendance globale des séries en soustrayant la moyenne mobile régionale sur trois ans aux valeurs brutes (**Figure 1**). Pour les deux types de températures maximales et minimales, on note deux grandes périodes : antérieure à 1970 marquée par des températures relativement froides et post-1980 où les valeurs extrêmes connaissent un réchauffement.

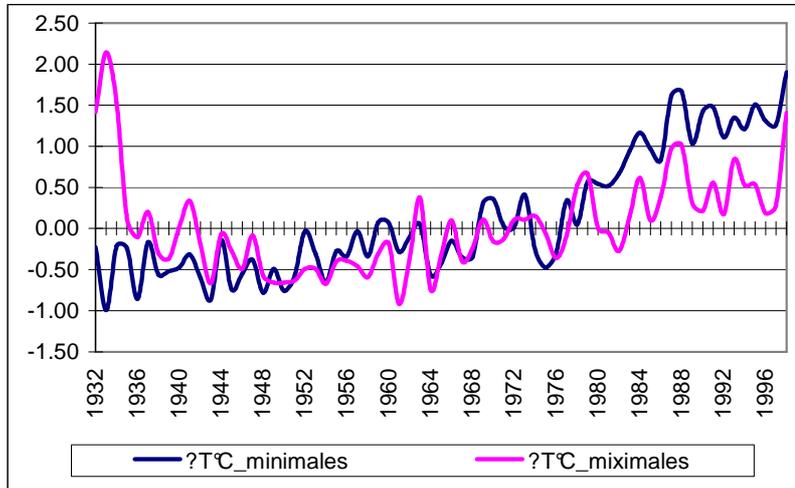


Figure 2 : Evolution des températures extrêmes minimales et maximales

Pour déceler la tendance climatique, nous avons appliqué deux méthodes statistiques: le test de Mann-Kendall (*Sneyers, 1975*) pour trouver la date de début de la hausse de température (**figure 2**) et le test de student pour apprécier cette hausse qui est de 1,1°C. Pour les valeurs maximales les températures ont connu une baisse de 0,9°C entre 1932 et 1950, puis la hausse (1960-1998).

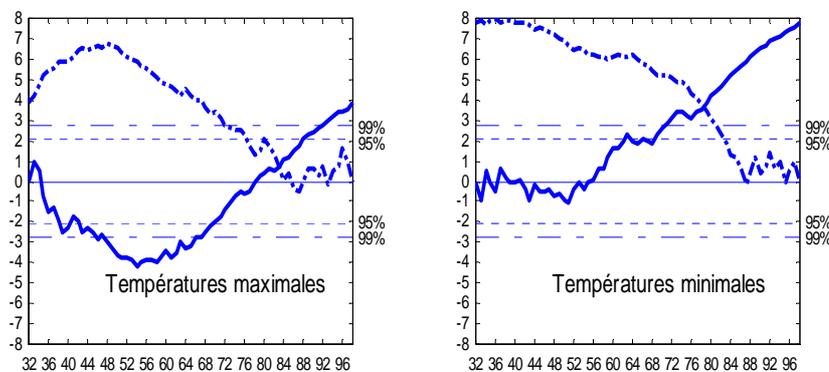


Figure 3 : Test de mann-Kendall sur les températures extrêmes maximales et minimales

### 2.2. Effet possible d'urbanisation

En s'appuyant sur l'étude des températures des quelques stations du Congo de *Mpounza et al. (2002)*. Une grande partie du réchauffement enregistré dans la station de Brazzaville pourrait résulter de l'urbanisation. Pour d'analyser plus finement le réchauffement observé à Brazzaville,

nous avons utilisé les amplitudes diurne de températures annuelles (**figure 3**). Ainsi, nous avons étudié l'évolution de l'amplitude thermique diurne moyenne. On peut donc admettre que l'effet des activités humaines est décelable dans toutes les longues séries de température de la station de Brazzaville entre période de faible urbanisation (antérieure à 1960) et forte urbanisation (post-1980).

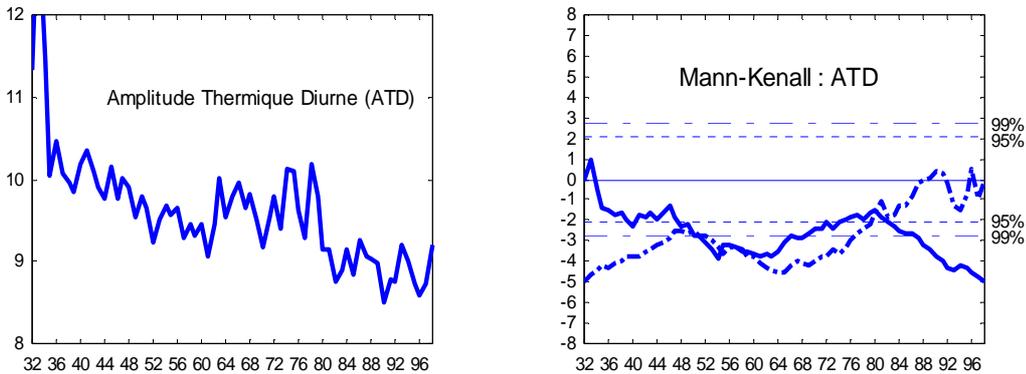


Figure 4 : Evolution des Amplitudes Thermiques diurne (à gauche) et le test de Mann-Kendall (à droite)

### Conclusion

L'évolution des températures maximales et minimales, met en évidence une tendance au réchauffement du climat urbain de Brazzaville. L'augmentation moyenne des températures est de 1,1°C pour toute la période d'étude. La suite de ce travail va s'orienter vers une comparaison entre stations synoptiques urbaines (grands centres urbains du Congo) et stations des localités moins urbanisées.

### Bibliographie

- MPOUNZA M., SAMBA G., BOUKA BIONA C. ET MASSOUANGUI-KIFOUALA M., 2003 :L'évolution des températures dans le Sud du Congo6brazzaville (1950-1998), *Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 15, pp 428-433*
- SNEYERS R., 1975 : L'analyse statistique des séries d'observations. *Note technique n°143, OMM-N°415, Genève - Suisse, 192 p.*



## L'INTENSITE DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN A SFAX : APPORT DE L'IMAGERIE SPATIALE ET DES MESURES ITINERANTES

G. BELTRANDO et S. DAHECH S

*Université Denis Diderot (Paris VII) UMR PRODIG du CNRS (c.c. 7001)  
2 place Jussieu 75251 Paris. [beltrando@paris7.jussieu.fr](mailto:beltrando@paris7.jussieu.fr), [salem.dahech@paris7.jussieu.fr](mailto:salem.dahech@paris7.jussieu.fr)*

### Résumé

Ce travail repose sur l'étude des images NOAA-AVHRR et sur l'exploitation de campagnes de mesures (fixes et itinérantes) réalisées entre l'hiver 2001/2002 et l'automne 2004 dans l'agglomération de Sfax. D'une part, ces données ont montré la relation entre l'extension urbaine et l'évolution des températures de surface entre 1986 et 2001. D'autre part, elles ont permis d'étudier la variabilité de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain selon le type temps.

**Mots clés :** îlot de chaleur, variabilité, intensité, Sfax, mesures itinérantes, NOAA-AVHRR

### Abstract

This work is based on the study of the NOAA-AVHRR images and some series of itinerant and fixed measurements between winter 2001/2002 and autumn 2004 in the Sfax agglomeration. On the one hand, these data showed the relation between the urban extension and the surface temperatures changes between 1986 and 2001. In addition, they made that it possible to study the variability of urban heat island intensity according to the weather type.

**Key word :** Urban heat island, variability, intensity, Sfax, itinerant measurements, NOAA-AVHRR

### Introduction

L'agglomération de Sfax a connu une accélération notable du rythme d'urbanisation depuis trois décennies (270 000 en 1975 à environ 500 000 en 2004). L'expansion urbaine et le développement de l'activité industrielle se sont fait au détriment des terres agricoles. Cette artificialisation du milieu a induit différentes modifications du milieu physique, particulièrement du climat ce qui se traduit par la création de l'îlot de chaleur urbain «ICU». D'une part, l'objet de cette étude est de parvenir à une meilleure connaissance de l'impact de la structure urbaine de l'agglomération de Sfax et de son évolution pluriannuelle sur la spatialisation des températures ; d'autre part, ce travail tente de cerner la variabilité de l'intensité de l'ICU.

### 1. Données et méthodes

L'ICU de Sfax est spatialisé par le biais d'images satellitaires NOAA-AVHRR et par des mesures itinérantes et à postes fixes de la température de l'air.

Une étude diachronique de deux images LANDSAT (janvier 1986 et mars 2001) et NOAA-AVHRR (juin 1986 et 2001) montre l'évolution de l'occupation du sol et de la température de brillance.

A Sfax, la température de l'air n'est mesurée que dans la station de Sfax-el-Maou située à l'aéroport, elle est donc peu utile pour caractériser le climat local de la ville. Pour pallier ce manque d'informations, des mesures itinérantes ont été effectuées sur des parcours choisis de façon à couvrir toute l'agglomération du centre-ville à la campagne. Trois séries de mesures ont été effectuées durant l'hiver 2001/2002, le printemps 2003 et l'été et l'automne 2004 par temps radiatif

nocturne. Les mesures ont été faites à l'aide de sondes thermo-hygrométrique (Testo) et les déplacements ont été faits par automobile ou par moto simultanément par trois équipes pour assurer une couverture de l'espace étudié en un minimum de temps. Les mesures sont effectuées durant plusieurs types de temps et lors de plusieurs moments de la journée afin de cerner la variabilité de l'intensité de l'ICU. De plus, une station météorologique fixe de type « Davis » est installée dans l'agglomération, à 1 kilomètre du centre-ville (pourcentage de l'espace bâti autour de la station dans un rayon de 500 m : environ 75%). Les températures minimales enregistrées par cette station sont comparées à celles de la station synoptique de la ville (Sfax-el- Maou) située en milieu dégagé (pourcentage de l'espace bâti autour de la station dans un rayon de 500m : environ 15%).

Une présélection de plusieurs images NOAA-AVHRR est faite en se référant aux données météorologiques tri-horaires. Les jours, où la pression atmosphérique était élevée, le ciel était clair et le vent synoptique était faible, ont été sélectionnés car, ce sont les conditions météorologiques qui font le mieux ressortir les contrastes thermiques locaux (Oke, 1973). Les images retenues, ont été corrigées géométriquement et géoréférencées. Les valeurs numériques sont converties en degrés Celsius, après la correction des effets atmosphériques, par la méthode du split window d'après la formule de Phulpin et Deschamps (1978). Une classification non supervisée des températures de surface a été adoptée.

L'occupation du sol est étudiée par le traitement (classification dirigées + vérification sur terrain) d'une image SPOT du 29 mai 2000 à 10h16 (TU). Deux images LANDSAT TM (janvier 1986) et ETM+ (Mars 2001), corrigées géométriquement en se référant à la carte topographique de 1992, sont traitées (calcul de l'NDVI+ classification automatique de ce dernier) afin de délimiter les surfaces bâties. La technique utilisée s'est avérée performante après vérification sur terrain.

## **2. Extension des surfaces bâties et impact sur les températures à Sfax**

Le facteur induisant le plus d'hétérogénéités thermiques nocturnes est la nature du substrat : les surfaces artificialisées couvertes de béton et d'asphalte sont toujours plus chaudes que les sols nus ou végétalisés. L'étude diachronique de l'occupation du sol et de la thermographie montre que l'extension urbaine qu'a connue la ville de Sfax entre 1986 et 2001 a été accompagnée par l'extension des surfaces chaudes. La morphologie de l'ICU de l'agglomération a changé, la partie la plus chaude, s'est étendue. Le centre-ville a connu plusieurs modifications favorables au réchauffement telles que l'augmentation de la superficie et du volume des surfaces bâties ainsi que l'intensification de la circulation routière et de l'activité industrielle. Il en est de même pour le tissu urbain continu qui entoure le centre-ville formant la deuxième couronne de l'îlot de chaleur urbain. En 2001, le rayon de cette couronne s'est étendu à 4 km (2 km uniquement en 1986) et cette deuxième zone est légèrement moins chaude que la première. Elle est formée, des quartiers populaires devenus très denses et continus, comme ceux de Sfax « El Garbia ». Suite à la fragmentation des parcelles et la transformation de quelques grandes villas en immeubles, l'espace bâti est devenu plus continu vers l'ouest. L'espace urbain discontinu formé par des villas entourées de grands jardins s'est étendu. Pourtant, une grande partie de cette espace s'est transformée en tissu urbain continu en 2001 notamment au sud. Il avait une forme plus régulière en 1986, sa température est plus proche à celle de la campagne qui l'entoure (22°C). Une extension urbaine le long des radiales est aussi perceptible (fig. 1)

## **3. Variabilité de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain**

### 3.1. Variabilité diurne et intra saisonnière

D'après les mesures itinérantes et à postes fixes, l'écart thermique centre-ville/ campagne atteint son maximum à la fin de la nuit, période où la vitesse du vent est quasiment nulle et où les températures minimales sont enregistrées. L'étude de ces dernières s'est avérée utile pour cerner le contraste thermique ville/campagne.

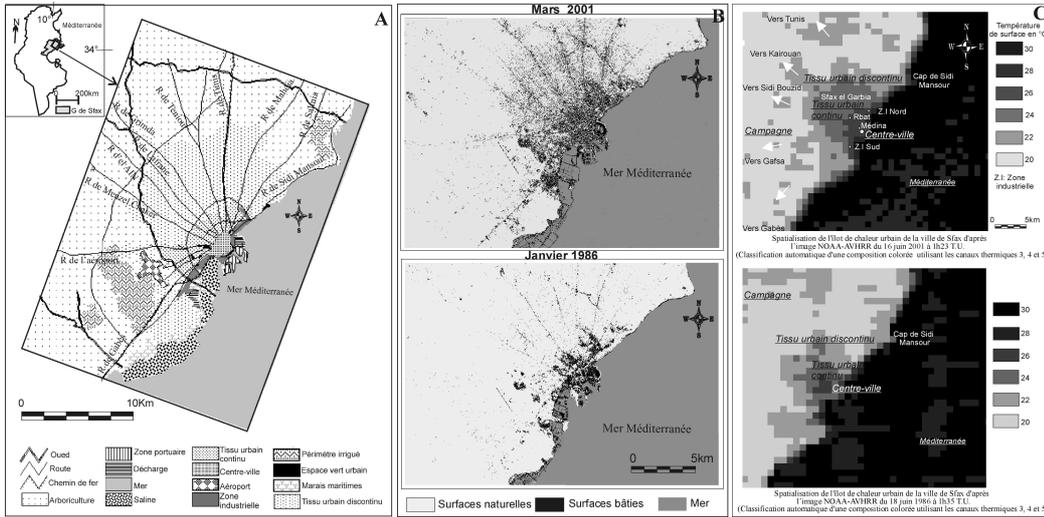


Figure 1 : Occupation du sol en 2000 (A) et évolution de l'espace bâti (B) et des températures de surface (C) dans l'agglomération de Sfax entre 1986 et 2001

Les températures minimales enregistrées par la station « Davis » sont comparées à celles relevées par la station de l'INM (Fig.2). La période de l'étude est comprise entre le 5 août et le 20 septembre 2004 en raison de la fréquence des situations synoptiques de calmes favorables au déclenchement du phénomène étudié.

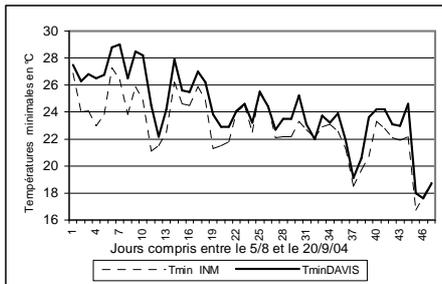


Figure 2 : Températures minimales moyennes à l'aérodrome et à 1km du centre-ville

La moyenne des écarts relevés entre les deux stations distantes de 5 km est d'environ 2°C. Cet écart atteint parfois les 4°C et peut être nulle parfois. Une analyse statistique montre l'influence essentielle de la nébulosité et notamment la vitesse du vent sur la formation de l'ICU et son intensité. Le coefficient de corrélation entre la vitesse quotidienne moyenne du vent et l'écart thermique est significatif, (-0,71).

### 3.2. Variabilité saisonnière de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain

Le centre-ville de Sfax et les quartiers densément peuplés qui l'entourent comme « Rbat » connaissent un réchauffement relatif par rapport à la campagne avoisinante. Des écarts thermiques nocturnes centre-ville/campagne entre 5.5 et 9°C, en moyenne, ont été observés en été, les valeurs les plus élevées sont enregistrées à la fin de cette saison. Cet écart est moins important en hiver, il est compris entre 4 et 7°C aux mêmes endroits et sous des conditions météorologiques semblables (Fig.3). L'îlot de chaleur urbain est plus intense durant la saison chaude qui coïncide avec la saison sèche (entre mai et octobre) (Fig.4) et où les temps calmes sont plus fréquents et plus persistants (Fig. 4). La stabilité estivale est due à la remontée de l'anticyclone subtropical d'origine dynamique. En dehors des moyennes saisonnières, durant les nuits à ciel couvert et vent fort, au cours de toutes les saisons, cet écart est inférieur à 1°C. Les saisons demeurent comme indice de la fréquence des types de temps favorables ou non à la création et l'accentuation de l'ICU. En effet, pour des situations anticycloniques, on peut avoir plusieurs types de temps. Le plus favorable est celui d'été, avec un vent sec, calme ou très faible, soufflant du secteur sud. Ce vent ramène les

polluants de la zone industrielle sud vers le centre-ville, ce qui accentue son réchauffement par effet de serre.

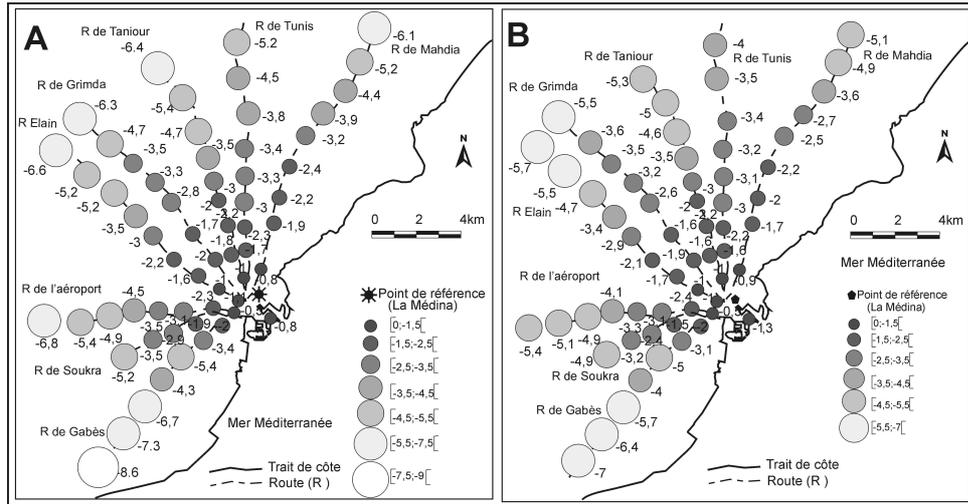


Figure 3 : Ilot de chaleur estival (A) et hivernal (B) à Sfax en 2004 (Dahech Thèse en cours)

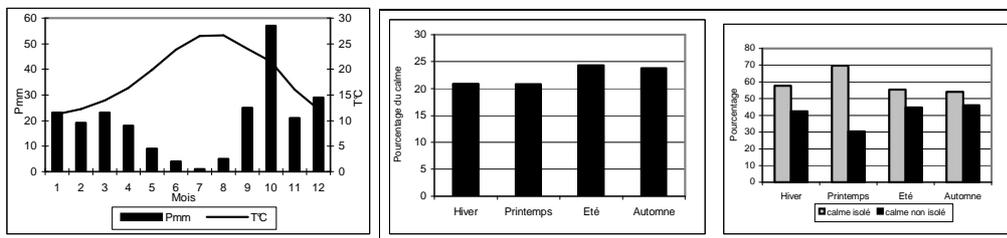


Figure 4: Diagramme ombrothermique (A) ; pourcentage (B) et persistance (C) des temps calmes à Sfax entre 1970 et 2002 (Dahech, thèse en cours)

## Conclusion

L'intensité de l'UCI dépend de l'occupation du sol et du type de temps. Par temps calme, l'extension des surfaces chaudes repérées par satellite est étroitement liée à l'étalement des surfaces bâties dans l'agglomération de Sfax. Lors de ces situations atmosphériques, caractérisées par une forte stabilité dans les basses couches de l'atmosphère, la nuit souffle une brise de terre du secteur NO dont la vitesse, inférieure à 0.5 m/s, favorise la mise en place d'un IUC. Celui-ci est très net dans un rayon de 2 km autour de la Médina (différentiel moyen d'environ 6°C) notamment en situation estivale et lorsque la masse d'air est sèche. Le vent joue un rôle important à Sfax dans la configuration de l'ICU. Il exporte la chaleur, la fraîcheur et les polluants.

## Bibliographie

- CARREGA, P., 1994 : Topoclimatologie et habitat. Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, 35 et 36, 408 pages.
- DÉSCHAMPS, P.Y et PHULPIN, T., 1978 : Elimination de l'effet de l'atmosphère et optimisation des bandes spectrales d'un radiomètre infrarouge à un ou deux canaux pour la mesure de la température de la surface des sols. ESA-SP-134 Toulouse, 347-353.
- OKE, T.R., 1973: City size and heat urban island. Atmospheric Environment, n° 7, 769-779.

# **INONDATION DANS LA VILLE DE TOGOU DO SUR LE PLATEAU D'ABOMEY-CALAVI : MANIFESTATIONS, INCIDENCES ET ADAPTATIONS HUMAINES**

**E. OGOUWALE et M. BOKO**

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dyn  
amique des Ecosystèmes (LECREDE) - Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin), BP : 526 Cotonou  
[ogkelson@yahoo.fr](mailto:ogkelson@yahoo.fr)*

## **Résumé**

Les manifestations pluvio-orageuses survenues entre mai et juin 2004 ont occasionné des inondations dans ville de Togoudo. L'analyse comparative de la répartition temporelle de la pluviométrie des mois de mai et juin de 1992, année fortement bien arrosée, et des mêmes mois en 2004 ne révèle rien de particulier.

**Mots clés :** Togoudo, Catastrophe pluviométrique, Inondation, Plateau, Occupation du sol, Adaptation

## **Abstract**

The rainfall of May and June 2004 caused biggest floods in Togoudo. The rainfall comparative analysis of May and June of 1992, strongly humid, between the same months of 2004 does not reveal any particular situation.

**Key words :** Togoudo, rainfall risk, Flood, Hills, Occupation of the ground, Adaptation

## **Introduction**

La ville de Togoudo, située sur le rebord sud du plateau d'Abomey-Calavi a été marquée en mai et juin 2004 par une inondation presque exceptionnelle selon les informations collectées sur le terrain. La présente étude est une contribution à l'identification des facteurs inducteurs et analyse des impacts de ce phénomène. En outre, elle aborde les stratégies réactives développées par les populations.

### **1. Démarche méthodologique**

Dans ce cadre, diverses techniques de recherche accélérée ont été mises en contribution dans le souci de recueillir un maximum de données et ce, crédibles en un temps record. Il s'agit de :

-la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP). Ici, on s'intéresse au prime abord aux réalités quotidiennes de la personne à enquêter, puis on aborde les questions concernant relatives à la problématique de l'inondation ;

-le diagnostic rapide ou le Rapide Rural Appraisal (RRA). Il consiste à effectuer des visites exploratoires dans les quartiers du secteur d'étude pour la collecte des informations. Elle permet la description du mode d'occupation du sol et aide à appréhender la diversité des stratégies d'adaptation et une connaissance des opinions des populations en rapport avec les inondations à Togoudo.

Pour déterminer la particularité événements pluvieux, les statistiques pluviométriques journalières des mois de mai et juin de 1992 et de 2004 ont été traitées. La carte de la dynamique de l'occupation humaine du sol est réalisée grâce au logiciel Arc Wiew.

### **2. Résultats**

Les inondations de mai et juin 2004 ont engendré d'importants dégâts. Les voies de communication étaient devenues impraticables durant plus d'un mois (photo 1). Cette situation a perturbé sérieusement les activités socioéconomiques. Les enfants bloqués à la maison ne pouvaient plus se

rendre à l'école. En outre, les personnes malades ne pouvaient aller dans les services sanitaires que difficilement et seulement dans les cas d'urgence. L'existence était devenue davantage compliquée.



Photo 1 : Voies de communication impraticables  
Source : Cliché Imorou, 2004

La photo 1 montre un véhicule et un taxi-moto, qui ne peuvent poursuivre leur route en raison de l'invasion de la voie de communication par les eaux torrentielles. Les roues de ce véhicule et de cette moto sont presque entièrement immergées dans l'eau. En outre, l'intérieur des concessions et des habitations était devenu invivable (photo 2).



Photo 2 : Envahissement d'une devanture et concession par les eaux  
Source : Cliché Imorou, 2004

La photo 2 montre des personnes à moitié ensevelies par les eaux torrentielles stagnées. Les dégâts matériels ont été très importants. L'état de santé des populations, notamment des enfants a été affecté par la résurgence des maladies gastro-intestinales. A ces dégâts vient s'ajouter la mort d'une personne par électrocution. Mais quels sont les facteurs amplificateurs de ce phénomène jusque-là rarissime à Togoudo ?

En réalité, les pluies de mai-juin 2004 n'expliquent pas à elles seules les inondations survenues à Togoudo (figure 1).

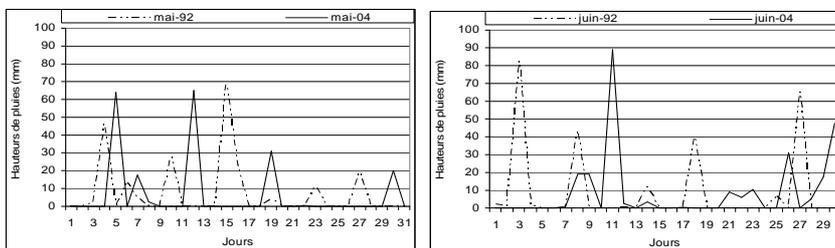


Figure 1 : Evolution journalière comparée des précipitations de mai et juin 2004 (période d'inondation) et de celle de mai et juin 1992 (année bien arrosée et ayant généré seulement quelques flaques d'eau à Togoudo)

L'analyse comparative des répartitions des hauteurs de pluies journalières des mois de mai et de juin de 1992 et de 2004, n'indique rien de particulier dans le champ pluviométrique. En effet, les hauteurs de pluies de mai 1992 et 2004 n'ont guère dépassé 70 millimètres. Certes, le mois de mai 2004 a enregistré dans l'intervalle de dix jours deux fortes précipitations (plus de 60 millimètres chacune). En outre, la différence entre les maxima pluviométriques des mois de juin de 1992 et de 2004 est d'environ 10 millimètres. Les informations collectées auprès des populations indiquent qu'en dépit de la forte pluviosité de 1992, une inondation d'égale ampleur à celle de 2004 n'a été

enregistrée. Dès lors, il est évident qu'il existe d'autres facteurs explicatifs de cette inondation. Mis à part la faible capacité de rétention des sols, les populations elles-mêmes créent les conditions favorables à l'inondation en procédant au remblai des réceptacles, lieux naturels de stagnation des eaux torrentielles. De plus, les zones basses de Togoudo sont occupées par certaines couches sociales, limitant ainsi leur fonction de réceptacle. A cela, il faut ajouter que le fait que les populations bloquent la circulation des eaux pluviales en construisant des habitations sur les exutoires naturels. En outre, l'absence de caniveaux d'évacuation des eaux de ruissellement et la dynamique de l'occupation du sol (figure 2) viennent s'ajouter aux facteurs précédemment évoqués pour aggraver et amplifier les manifestations des inondations à Togoudo.

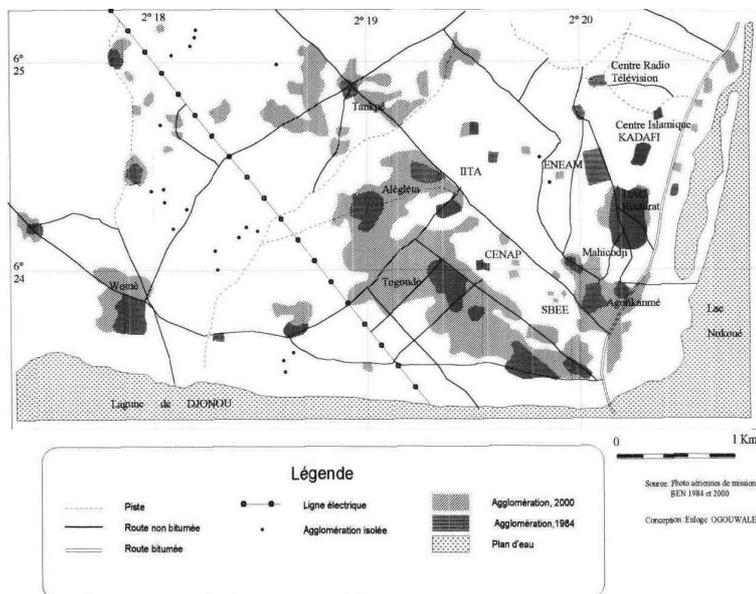


Figure 2 : Dynamique de l'occupation humaine entre 1984 et 2000

Sur le plan de l'occupation humaine, l'analyse de la figure 2 permet de distinguer deux sous-secteurs. Le premier correspond aux anciens quartiers, noyau primitif de Togoudo. Ils ont été créés sans aucun plan cohérent. A partir des observations faites sur le terrain, il ressort qu'en dehors des routes principales reliant les quartiers, l'essentiel des voies de communication est constitué de sentiers accessibles seulement aux piétons et dans une certaine mesure aux cyclistes. Le second concerne les nouveaux quartiers, caractérisés par une forte installation humaine en l'absence de toute prévision de réseau viaire. Manifestement, cette occupation humaine non planifiée est certainement un facteur majeur du phénomène d'inondation sur un plateau relativement pentu pour que les eaux torrentielles coulent selon les lignes d'inclinaison naturelle de ce type de relief.

En somme, les investigations menées en milieu réel montrent que les conséquences d'une telle situation ont été diverses et variées. Les unités sociales étaient devenues inaccessibles, les voies de communication endommagées. Partout, les flaques d'eau ont constitué l'élément marquant du paysage à Togoudo. Autant de situation ayant jeté dans le désarroi les populations qui se sentaient alors à l'abri des inondations cycliques de Cotonou. Désolation, pessimisme et désenchantement ont caractérisé les réactions des populations qui se sont retrouvées subitement submergées par un flot de vagues d'eau. Le comble est que ces eaux ont stagné pendant plus de deux mois. Pour réduire les effets néfastes des inondations, les populations ont développé des stratégies d'adaptation actives.

Les stratégies développées par les populations concernent l'établissement des briques dans les concessions, la mise hors d'état de fonctionnement du circuit électrique interne, l'abandon des habitations et le déménagement. Ces stratégies réactives étant développées pour lutter contre certains impacts de l'inondation et non le phénomène lui-même, il est proposé des mesures visant à

réduire les fréquences et l'ampleur des inondations à Togoudo. Elles comprennent l'élaboration de codes en matière d'installation humaine, la mise en application de textes législatifs et réglementaires en matière d'urbanisme. Des dispositions doivent être prises de manière à éviter désormais toute installation dans les zones déclarées non édificandi.

### **Conclusion**

Au terme de la présente étude, il est à retenir que les inondations ne sont que d'origine pluviométrique dans la ville de Togoudo. Et même, si les eaux pluviales constituent le principal facteur déclencheur, les enquêtes de terrain et l'analyse des données collectées montrent que l'occupation non planifiée du sol, l'absence de réseaux viaires ainsi que le non respect des textes réglementant l'occupation du sol constituent les paramètres amplificateurs du phénomène.

L'inondation n'est plus l'apanage et caractéristique de la seule ville de Cotonou dont le territoire est à plus de 50% en dessous du niveau zéro de la mer. Elle est désormais une réalité sur le rebord sud du plateau d'Abomey-Calavi. Et donc, illusion pour ceux qui pensaient éviter ou échapper aux inondations de Cotonou en venant s'installer à Togoudo.

Il est à craindre que le phénomène ne s'amplifie et ne s'aggrave les années à venir si l'occupation inorganisée du sol n'est fortement pas réprimée par les services compétents sous la direction des autorités locales et si Togoudo n'est pas rapidement doté d'un réseau viaire mûrement réfléchi.

### **Références bibliographiques**

BOKO M. (1988) : Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorat d'Etat ; 2 tomes ; Centre de Recherches de Climatologie. URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon. 608p.

CARTER T. R. (1995) : Directives techniques du GIEC pour l'évaluation des incidences de l'évolution du climat et des stratégies d'adaptation. 62p.

DUPRIEZ H. : (1990) Les chemins de l'eau, Terre et vie. 380p.

ESCOURROU G. (1991) : Le climat et la ville. Nathan, Paris. 190p.

HOUNDAKINOU G. R. (2003) : Evènements pluviologiques extrêmes et vulnérabilité des établissements humains dans le sud-Bénin. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH. 102p.

Laberrie J. (1985) : L'homme et le climat, Denoël, Paris. 245p.

## **CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE A L'INTERIEUR DE LA VILLE DE COTONOU (AFRIQUE DE L'OUEST)**

**I. YABI, F. AFOUDA, M. BOKO**

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE)  
Département de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) BP : 526 Abomey-Calavi  
E-mail : yafid2@yahoo.fr*

### **Résumé**

Ville côtière d'Afrique de l'ouest, Cotonou abrite environ 12% de la population béninoise et concentre les 2/3 des établissements industriels du pays. La recherche montre une inégale répartition des précipitations d'une station à une autre. Les facteurs géographiques locaux sont évoqués comme hypothèses justificatives.

**Mots Clés** : Cotonou ; variabilité pluviométrique ; inégale répartition.

### **Abstrat**

Coastal city of West Africa, Cotonou shelters approximately 12% of the population of Bénin and is the most industrial area of the country. This research shows an unequal distribution of rainfall of a station to another. The local geographical factors are evoked like assumptions justifying.

**Key Words** Cotonou ; rainfall variability; unequal distribution.

### **Introduction**

Avec une superficie de 67,5 km<sup>2</sup> et une population estimée à 658 572 habitants en 2002, Cotonou, Capitale économique du Bénin concentre les 2/3 des activités industrielles du Bénin. La ville est située sur le cordon littoral et s'étend entre le lac Nokoué et l'océan Atlantique. Du point de vue climatique, Cotonou connaît le climat subéquatorial de type guinéen caractérisé par 4 saisons (2 saisons pluvieuses et saisons sèches). Le flux de mousson atlantique en constitue le principal facteur pluviogénique.

La présente recherche se fonde sur le fait qu'il est fréquent d'être mouillée par la pluie dans certains quartiers de l'agglomération cotonnoise pendant que d'autres sont plutôt secs.

L'étude vise ainsi à vérifier si ces certains quartiers de la ville de Cotonou sont vraiment plus arrosés que d'autres, à identifier et à analyser des les facteurs explicatifs.

### **1- Données et procédure méthodologique**

Les données utilisées sont issues du fichier de l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) et sont relatives aux hauteurs annuelles des pluies de la période 1974-2003 soit 30 ans. La figure 1 présente les stations dont les données sont utilisées pour cette étude.

Les données manquantes ont été comblées par la méthode de triangulation sur surfer 7. En plus, le test de double cumul a aidé à vérifier l'homogénéité des données exploitées.

La moyenne arithmétique, l'écart type, les coefficients de corrélation, ont été calculés et utilisés pour apprécier le degré de dépendance entre les stations. Les analyses en composantes principales

(ACP) de type Pearson ont permis d'appréhender la variation spatiale des précipitations et d'apprécier la ressemblance des stations.

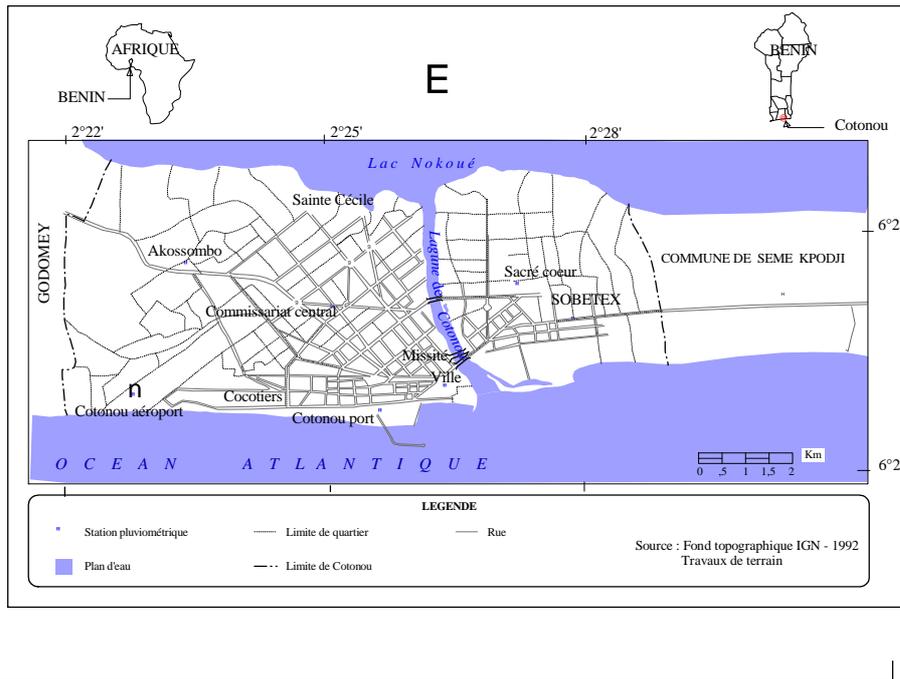


Figure 1 : Localisation des stations dont les données sont étudiées

## 2- Résultats

### 2.1. Variation interannuelle des précipitations

La figure 2 traduit la variabilité interannuelle des précipitations à l'intérieur de la ville de Cotonou. Les années excédentaires s'alternent avec les années déficitaires sans une période apparente. Ainsi les années 1974, 1979, 1982, 1997, 2003 sont excédentaires tandis que les années 1977, 1980, 1989 et 1998 sont déficitaires. Mais l'année 1986 est particulièrement excédentaire à Akossombo alors qu'elle est déficitaire au niveau des autres stations, il est de même pour SobeTEX en 1981. Ces constats indiquent une inégale répartition spatiale des pluies à Cotonou.

### 2.2. Distribution spatiale des pluies à l'échelle annuelle à Cotonou

Le tableau I présente la valeur des hauteurs moyennes annuelles au niveau des stations. Au regard des données de ce tableau, la station de la ville paraît la moins arrosée alors que Aéroport et Akossombo semblent être plus pluvieuses. Aussi remarque t-on que les stations de l'Est de la lagune (Sacré-cœur et SobeTEX) ont une forte pluviosité.

Tableau I : hauteurs moyennes des pluies (en mm) par station

| Stations           | Aéroport | Ville  | Port    | Akossombo | SobeTEX | Commisariat | Sacré-cœur | Sainte Cécile |
|--------------------|----------|--------|---------|-----------|---------|-------------|------------|---------------|
| Moyennes annuelles | 1243,13  | 978,22 | 1149,63 | 1224,78   | 1233,91 | 1152,70     | 1197,80    | 1156,91       |

La valeur des coefficients de corrélation consignée dans le tableau II aide à mieux apprécier les liaisons entre les stations. Les corrélations sont testées pour le seuil de signification de 1% et le test retenu est celui de Student. Un coefficient est significatif lorsque sa valeur est supérieure à 0,70.

Tableau II : Corrélation entre les stations de la ville de Cotonou à l'échelle annuelle

|               | Aéroport    | Ville | Port        | Akossombo   | Sobetex     | Commissariat | Sainte Cécile | Sacré-cœur |
|---------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| Aéroport      | 1           |       |             |             |             |              |               |            |
| Ville         | 0,51        | 1     |             |             |             |              |               |            |
| Port          | <b>0,75</b> | 0,50  | 1           |             |             |              |               |            |
| Akossombo     | <b>0,96</b> | 0,57  | <b>0,73</b> | 1           |             |              |               |            |
| Sobetex       | <b>0,79</b> | 0,47  | 0,61        | <b>0,74</b> | 1           |              |               |            |
| Commissariat  | <b>0,91</b> | 0,59  | <b>0,75</b> | <b>0,89</b> | <b>0,81</b> | 1            |               |            |
| Sainte Cécile | <b>0,92</b> | 0,51  | <b>0,73</b> | <b>0,87</b> | <b>0,79</b> | <b>0,94</b>  | 1             |            |
| Sacré-cœur    | <b>0,91</b> | 0,49  | <b>0,72</b> | 0,64        | 0,56        | 0,64         | 0,67          | 1          |

Il ressort de l'analyse du tableau II que la station de la ville est isolée par rapport aux autres. Les fortes corrélations sont observées entre Aéroport, Commissariat, Akossombo, Sainte-Cécile, Port, toutes situées à l'Ouest de la lagune. La plus forte corrélation se remarque entre Aéroport et Akossombo. Sacré-cœur et Sobetex qui sont pourtant situées au même secteur (Est de la lagune) ne donnent pas une bonne corrélation.

L'analyse en composante principale (ACP) des hauteurs annuelles de pluies (figure 3) permet de vérifier cette affinité spatiale de certaines stations.

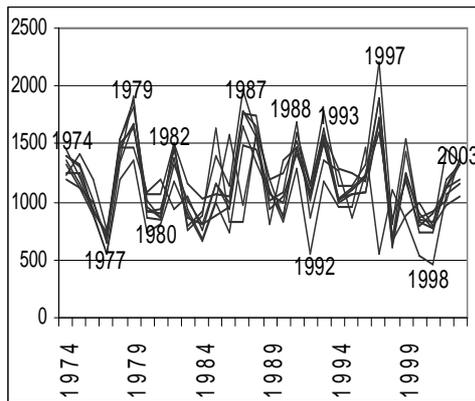


Figure 2 : Variation interannuelle des pluies à Cotonou

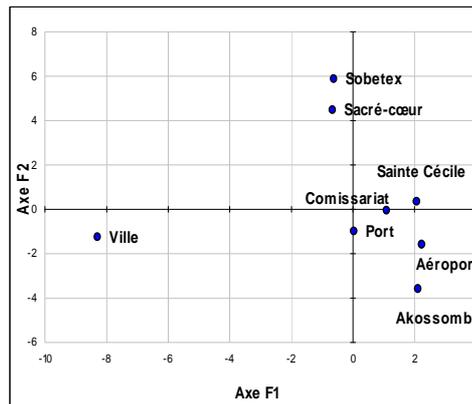


Figure 3 : ACP de hauteurs annuelles des pluies à Cotonou

L'analyse de la figure 3 confirme l'affinité spatiale des stations de l'ouest de la lagune à l'exception de la Ville qui s'isole. En outre, Sobetex et Sacré-cœur se détachent et forment un sous-groupe.

La trajectoire méridienne des flux pluvieux de la mousson africaine semble expliquer la forte corrélation qui existe entre Aéroport et Akossombo (située presque sur la même trajectoire). La singularité de la station de Cotonou-Ville reste à expliquer étant donné qu'elle est proche de la mer et de la lagune et devrait être mieux arrosée au regard conditions hygrométriques favorables. Une analyse des différents flux qui influencent le site pourrait éclairer d'avantage. Quant aux stations de Sainte-Cécile, Commissariat et Ville, elles sont situées au cœur de l'agglomération, elles sont influencées par la présence des habitations, les activités humaines, susceptibles de créer des îlots de

chaleur qui, combinés à la présence de surfaces évaporantes (lagunes et marécages) favorisent des précipitations.

Les recherches ultérieures permettront de vérifier cette hypothèse. Aussi une analyse saisonnière voire journalière permettra-elle de mieux appréhender la répartition spatiale des pluies à Cotonou.

### **Conclusion**

La présente recherche a permis de constater que :

- les pluies sont inégalement réparties sur la ville de Cotonou ;
- la station de Cotonou-ville est la plus moins arrosée et s'isole ainsi des autres stations de l'ouest de la lagune.

Les facteurs géographiques locaux (habitations, activités humaines, présence de surfaces évaporantes) ont été évoqués comme éléments d'explication. Les futures recherches permettront de vérifier cette hypothèse.

### **Indications bibliographiques**

ACCROMBESSY I, 1988 : Les inondations et leurs conséquences sur l'aménagement dans l'espace périurbain de Vossa à Cotonou (sud-Bénin). Mémoire de maîtrise FLASH - UAC, Abomey-Calavi.

AZONHITO H., 1988 : Contribution à l'étude des climats de Cotonou, analyse graphique des précipitations. Mémoire de maîtrise de Géographie, DGAT/UNB/FLASH

BOKONON-GANTA E, 1987 : Les climats de la région du golfe du Bénin (Afrique de l'Ouest) Thèse de Doctorat de troisième cycle, Paris, Institut de Géographie.

BONI A, 1998 : Contribution à l'étude statistique de la répartition spatio-temporelle des pluies à l'intérieur de la Ville Cotonou. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UNB.

HOUNDAKINOU R. G., 2003 : Evénements pluviologique extrême et vulnérabilité des établissements humains dans le sud Bénin. Mémoire de maîtrise FLASH-UAC. Abomey-Calavi..

YABI I., 2002 : Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8°N au Bénin. Mémoire de maîtrise FLASH - UAC, Abomey-Calavi.

# RECHERCHE PRÉLIMINAIRE SUR LE CHAMP THERMIQUE DE LA VILLE DE GÊNES EN SITUATIONS ANTICYCLONIQUES D'HIVER

R. PEDEMONTE, D. ROSA, M. RISO

*Société Météorologique Italienne, Section Ligurienne, Galleria G. Mazzini 7, Gênes, c/o CAI Sez. Ligure  
[rlm@rlmet.it](mailto:rlm@rlmet.it)*

## Résumé

L'étude présente les résultats d'une recherche préliminaire effectuée sur le champ thermique de la ville de Gênes en situations anticycloniques d'hiver pour vérifier l'influence de l'orographie locale et l'existence éventuelle d'une île de chaleur urbaine. De premiers résultats on déduit que l'orographie complexe du territoire influence de manière essentielle la distribution de la température et masque les effets de l'île de chaleur urbaine en particulier le long de la côte.

**Mots-clé:** Gênes, île de chaleur, anticyclone, température, urbanisation, orographie.

## Abstract

The study concerns a preliminary investigation about the influence of the orography on the variation of the temperature and the existence of an urban heat island in the area of Genoa in winter anticyclonic situations. The results indicate that the complex orography greatly affects the distribution of the temperature, disguising the effects of the urban heat island, in particular along the coast.

**Key-words:** Genoa, heat island, anticyclone, temperature, urbanization, orography

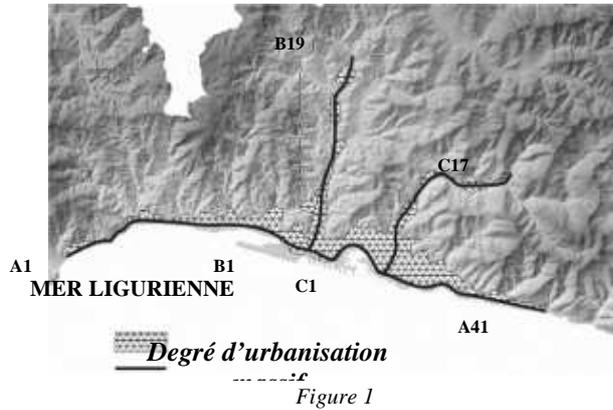
## 1. Aire d'étude

L'étude sur le champ thermique a été menée à Gênes, une ville qui compte environ 600 mille habitants qui vivent dans une grande partie le long 31 km de la cote et dans les points les plus accessibles des collines et des vallées, zones qui ont subi une urbanisation marquée, spécialement pendant le dernier après-guerre. La côte est rectiligne avec alignement est-ouest et est coupée par nombreux sillons parcourus par courts torrents. Les collines laissent peu de place aux plaines côtières. Les principales vallées sont: la Val Polcevera, à l'ouest du centre de la ville, disposée selon un axe nord-sud et la Val Bisagno, à l'est, qui, avant de rejoindre la mer, accomplit une large anse vers le sud. L'orographie complexe et la mer à midi de la ville pour toute sa longueur, déterminent des microclimats spéciaux, différents de ces que l'on trouve dans d'autres zones urbaines.

## 2. Méthodologie

Il a été choisi de mesurer les températures le long les trois parcours suivants (*Fig. 1*):

- Parcours A - Entre les centres d'Arenzano et de Bogliasco, le long l'axe côtier génois - altitude comprise entre 3 et 75 m - 41 points de mesure sur 36.6 km - temps du parcours: en moyen 65 min.
- Parcours B - Entre la bouche du torrent Polcevera, à Cornigliano, et la frontière de la commune de Gênes avec la commune de Mignanego - altitude comprise entre 9 et 120 m - 19 points de mesure sur 12.1 km - temps du parcours: en moyen 20 min.
- Parcours C - Entre la bouche du torrent Bisagno et la frontière de la commune de Gênes avec la commune de Bargagli - altitude comprise entre 5 et 150 m - 17 points de mesure sur 14.5 km - temps du parcours: en moyen 29 min.



Les mesures ont été faites en utilisant un thermomètre digital à thermocouple doué d'une sonde avec résolution de 0.1 °C et temps de réponse de 10 s. La sonde a été rangée à bord d'une voiture sur un support isolant en matériel plastique, à 210 cm du sol. Les trajets automobiles ont été accomplis pendant les heures de la nuit, à une vitesse compatible avec les temps de réponse de la sonde. Le long de chacun itinéraire ont été déterminés les points les plus représentatifs, dont les emplacements ont été enregistrés et informatisés avec appareillage GPS. En considération de leur temps de parcours, les trajets ont été effectués deux fois, un aller et un retour, en enregistrant à chaque passage et dans chaque point la valeur de la température. En assumant une variation linéaire dans le temps des températures, propre de la fluctuation thermique journalière, la valeur de la moyenne des deux valeurs enregistrées, dans chaque point, peut être comparée avec l'analogie des autres points. Dans les graphiques les valeurs  $\Delta T_m$  représentent l'écart des moyennes calculées comme ci-dessus, dans les différents points, par rapport à leur moyenne le long tous le parcours.

### 3. Résultats

La campagne de mesure a été menée pendant l'hiver 2000/2001, en deux situations anticycloniques:

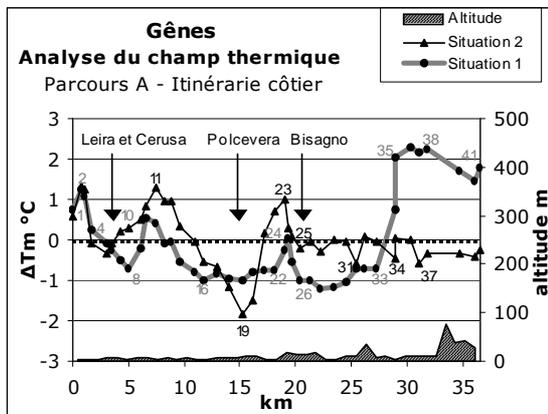


Figure 2

*Situation 1: ciel clair avec forts courants du nord au sol.*

*Situation 2: ciel clair avec calme ou vent léger.*

#### 3.1 Parcours A. Axe côtier (Fig. 2)

La courbe de la température dans la situation 1, souligne l'effet des froids vents du nord acheminés par les vallées qui coupent la côte. En procédant d'ouest vers est, tout de suite, après d'Arenzano

(point 1) on relève à Vesima (2) la valeur la plus élevée de la température à l'ouest du centre ville. On constate ensuite, une diminution rapide à Voltri (4), aux bouches du Cerusa et du Leira, avec un minimum dans le point (8). D'ici une remontée jusqu'au Lido de Pegli (10), variation de  $\Delta T_m = 1.3 \text{ °C}$  en 2.7 km, ensuite une descente lente mais constante jusqu'à Cornigliano, au débouché du Polcevera. D'ici une variation de  $\Delta T_m$  maxi =  $0.3 \text{ °C}$  en 4.3 km (du point (16) au point (22) jusqu'à Sampierdarena). Le centre-ville, protégé par le mont Sperone en particulier la zone du Porto Antico (24), présente valeurs thermiques semblables à celles de Pegli. A la bouche du Bisagno (26) on a un refroidissement qu'atteint la valeur maximale de tout le parcours côtier. Au-delà, jusqu'à Priaruggia (33), on relève un nivellement général des valeurs vers le bas (variation de  $\Delta T_m$  maxi =  $0.5 \text{ °C}$  en 5.7 km, de (26) à (33)). En se rapprochant à Nervi la côte est bien protégée aux vents du Nord par le mont Moro. Entre Priaruggia et Quinto (35) une différence positive de  $\Delta T_m = 2.8 \text{ °C}$  a été enregistrée en seulement 1.9 km. Puis la température se maintient constante jusqu'à Sant'Ilario (38), après elle subit une diminution légère, pour se stabiliser près de Bogliasco (41). En situation 2, à l'ouest de la ville, on constate une sensible différence entre les zones réparées par les reliefs et celles situées au débouché des vallées. La variation de  $\Delta T_m$  entre Pegli (11) et le pont sur le Polcevera (19) est =  $-3.1 \text{ °C}$  en 6.4 km. La température ensuite remonte rapidement pour atteindre le troisième maximum, après Pegli et Vesima, en correspondance de la Gare Maritime (23), en centre ville. La distribution thermique apparaît par contre assez uniforme, contrairement à la situation 1, entre la zone Foce (25) et Bogliasco (41), variation max de  $\Delta T_m = 0.7 \text{ °C}$  en 12.9 km, avec faibles pics négatifs en correspondance du débouché des petites vallées: des torrent Sturla (31), Castagna (34) et Nervi (37). En conclusion le long de tout le parcours côtier, l'influence de l'île de chaleur urbaine, résulte peu évidente ayant prééminence, sur le champ thermique, l'influence de la position géographique.

### 3.2 Parcours B. Vallée du Polcevera (Fig. 3)

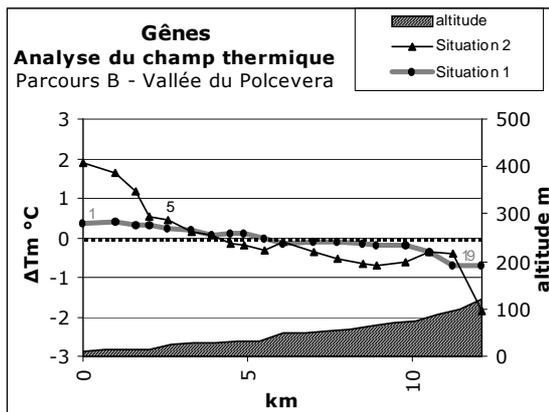


Figure 3

La valeur de  $\Delta T_m$  le long de la Val Polcevera dans la situation 1, est presque uniformément décroissante avec une variation totale plutôt limitée. Du pont de Cornigliano (1) à la limite entre la commune de Gênes et la commune de Mignanego (19), sur une distance de 12.9 km, on a relevé une amplitude de  $\Delta T_m = -1.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . La courbe qui représente la situation 2 au contraire montre une grande différence thermique entre la cote et l'intérieur, où le taux d'urbanisation est moindre: variation total de  $\Delta T_m = -4.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La diminution est rapide jusqu'à le ruisseau Fegino (5), plus lente après. La température très basse au point de mesure extrême est du probablement à la présence de brises locales.

### 3.3 Parcours C. Vallée du Bisagno (Fig. 4)

La courbe thermique dans la situation 1 présente une allure plus complexe par rapport à celle relevé dans la vallée du Polcevera. On relève dans le parcours entre la gare de Brignole (3) et l'agglomération de Struppa (14), une variation maximale de  $\Delta T_m = 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . La diminution de la température en correspondance du Giro del Fullo (12) est dû vraisemblablement à le changement de

l'orientation de la vallée dans ce point, avant nord-sud, après est-ouest. La successive chute de la température dépend aussi du fait que l'environnement n'est plus urbanisé.

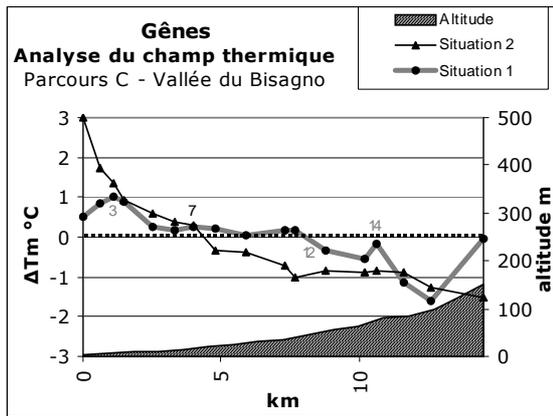


Figure 4

Le graphique qui représente la situation 2, souligne une plus régulière diminution de la température au fur et à mesure qu'on s'enfonce dans l'intérieur de la vallée: variation de  $\Delta T_m = -4.5$  °C maximum le long les 14.5 km du parcours, correspondant à un gradient de  $-0.3$  °C par km, valeur analogue à celle relevée en Val Polcevera. Une sensible variation de la pente de la courbe apparaît au nord du cimetière de Staglieno (7), où l'impact de l'urbanisation est moindre.

### Conclusion

Il est évident que cette première recherche sur la distribution de la température dans la ville de Gênes nécessite un approfondissement par d'autres campagnes sur le terrain, menées aussi dans d'autres différentes périodes de l'année. Des premiers résultats, on peut dire que l'île de chaleur urbaine à Gênes est masquée par l'effet de la complexe orographie locale et par la différente distance de la mer des zones objet de l'étude, et peut être mise en évidence, bien que en forme atténuée, seulement le long les deux vallées principales.

### Bibliographie

- CARREGA P., 1996; Les spécificités de l'îlot de chaleur urbain à Nice, Côte d'Azur, Nimbus.
- GIUFFRIDA A., 2001; Effetti dell'urbanizzazione sul clima di una regione e temperatura di effetto, Rivista di Meteorologia Aeronautica
- GRILLINI B., 1987; Milano: un'esperienza sul limite dell'isola di calore urbana, Rivista di Meteorologia Aeronautica
- MELHUISH E., PEDDER M., 1998; Observing an urban heat island by bicycle, Weather.
- UPMANIS H., ELIASSON I., LINDQVIST S., 1998; The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, International Journal of Climatology.
- ZANELLA G., 1976; Il clima di Parma, Rivista di Meteorologia Aeronautica

## **THEME 2**

# **CLIMAT ET EROSION**



## VARIATIONS CLIMATIQUES ET MORPHOGENESE HOLOCENE DANS LE BASSIN DU GUADALENTIN, REGION DE MURCIE, SUD-EST ESPAGNOL

M. CALMEL-AVILA <sup>(1)</sup>, P.G. SILVA <sup>(2)</sup>, T. BARDAJI <sup>(3)</sup>, J.L. GOY <sup>(2)</sup>, C. ZAZO <sup>(4)</sup>.

1 : Lycée G. Crampe, Aire-sur-l'Adour, France.

2 : Dept. Géologie, Université de Salamanca, Espagne.

3 : Dept. Géologie, Université de Alcalá de Henares, Madrid, Espagne.

4 : Dept. Géologie, Museo Nac. Ciencias Naturales (CSIC), Madrid, Espagne.

### Résumé

Depuis 10000 BP, le fossé du Guadalentín a servi de piège sédimentaire à l'alluvionnement du río Guadalentín et de ses affluents. On a constaté des variations significatives du régime pluviométrique à travers l'étude stratigraphique des nappes alluviales qui le comblent et la datation par le radiocarbone a permis d'en fixer le cadre temporel.

**Mots-clés:** Holocène, système fluvial, variation climatique, datations par le radiocarbone, bassin du Guadalentín, SE Espagne

### Abstract

The Guadalentín Depression is filled by the materials deposited by the Guadalentín river and tributaries since 10000 BP ago. The fluvial and palustrine stratigraphic sequence record significant rainfall variations during the Holocene. C<sup>14</sup> dating led to put constraints on the chronological framework of historic and prehistoric climatic changes.

**Key words :** Holocene, fluvial systems, climatic change, C<sup>14</sup> dating Guadalentín Depression, SE Spain.

### Introduction

Situé au sud-est de l'Espagne, dans la région de Murcie, le río Guadalentín est le principal affluent de rive droite du fleuve Segura. Il draine une dépression pré-littorale de 60 km de long entre Lorca et Murcie, séparée du rivage méditerranéen par les Sierras de Carrascoy et de la Almenara (*figure 1*). Large de 6 à 10 km, la vallée correspond à un fossé tectonique encore actif dont le plancher irrégulièrement érodé forme un seuil au niveau de Librilla. Les datations sur charbon de bois et l'existence de macro-restes archéologiques sur toute la hauteur des coupes ont permis de rattacher à l'Holocène la quasi-totalité du remplissage sédimentaire. L'analyse stratigraphique de ces dépôts met en valeur la superposition de plusieurs séquences détritiques. On peut se demander quelle a été la part des facteurs climatiques dans la diversité des styles et des rythmes sédimentaires qui caractérisent la vallée du Guadalentín. En trois parties, nous présenterons d'abord les données environnementales actuelles, puis l'analyse des variations climatiques holocènes jusqu'à la période romaine, enfin les tendances climatiques qui ont présidé à la morphogenèse de l'Antiquité à nos jours.

#### 1. Les données environnementales actuelles de la vallée du Guadalentín.

La vallée du Guadalentín appartient à l'Ibérie méditerranéenne semi-aride avec un total pluviométrique annuel normal de 288 mm (1961-1990) pour la station de Librilla. L'été est particulièrement sec (12% du total) et l'hiver à peine plus humide avec 22%. Ce sont les maxima d'équinoxe qui amènent l'essentiel des précipitations. Très irrégulières d'une année sur l'autre, les pluies torrentielles restent un phénomène relativement rare, mais elles ont un rôle majeur sur la morphogenèse. Les températures moyennes sont élevées puisque la vallée sur situe au sud du 38°

degrés de latitude nord. La température moyenne annuelle est de 18,2°C avec un hiver très doux (10°C), des gelées très rares. L'été est long et très chaud avec une moyenne de 26,8°C (juillet-août). Les fortes chaleurs commencent dès le mois de mai et 58 jours dépassent 35°C. Forte chaleur et sécheresse favorisent les phénomènes de dessiccation des limons et des argiles, facilement mobilisables avec les pluies d'automne.

La vallée du *río* Guadalentín appartient à la terminaison orientale des chaînes Bétiques. Elle est encadrée de massifs montagneux modelés dans des roches généralement peu perméables (schistes, marnes) et se divise en deux petits bassins (Alhama et Murcie) séparés par le seuil de Librilla en parti fossilisé sous les alluvions holocènes (*figure 1*). La bordure occidentale de la vallée est limitée par une faille majeure, la faille d'Alhama, que franchissent les torrents du Gelos, de l'Algeciras et du Librilla, affluents de rive gauche du Guadalentín (Silva et al., 2003).

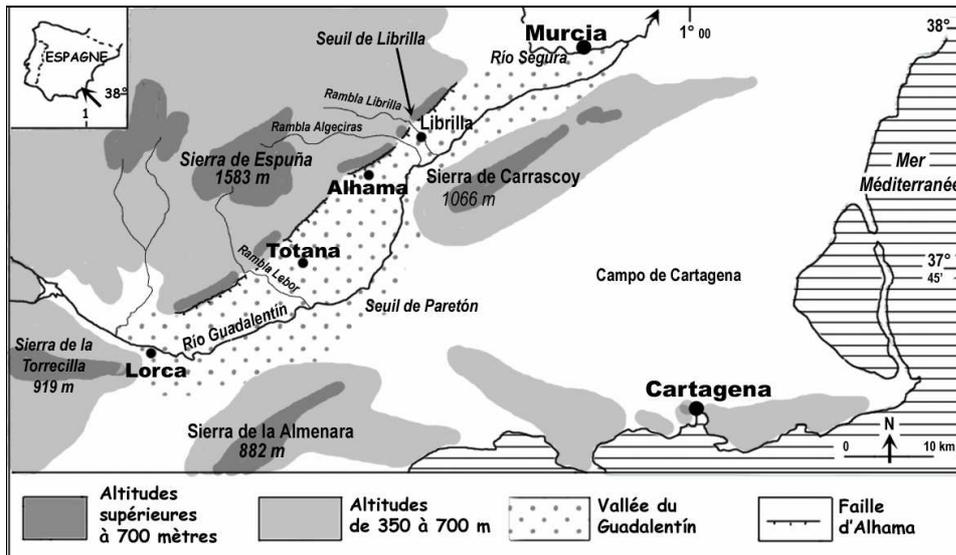


Figure 1. Présentation de la vallée du Guadalentín

Si les conditions climatiques actuelles ne semblent pas favorables à un alluvionnement de grande ampleur, il n'en a pas toujours été ainsi au cours de l'Holocène comme en témoignent l'étude des coupes stratigraphiques.

## 2. L'analyse stratigraphique des dépôts de l'Holocène inférieur et moyen indique clairement d'importantes variations pluviométriques.

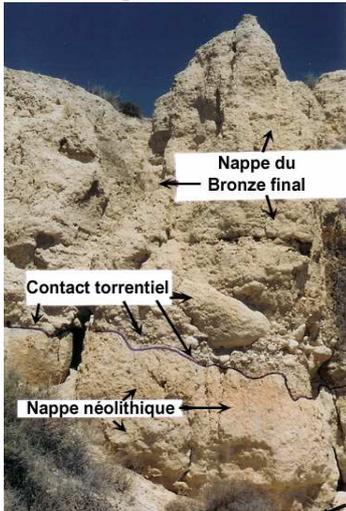
### 2.1. La première moitié de l'Holocène est marquée par un alluvionnement progressif de la vallée lié à l'atténuation de l'aridité climatique à partir de 7000 BP.

Ces dépôts ont une puissance totale de 7 à 8 mètres. Les charbons de bois fossilisés ont permis de caler la mise en place de la nappe entre 6500 BP et 4500 BP, période qui correspond au Néolithique local (Cuenca Payá et al., 1986 ; Calmel-Avila, 2000). Les tessons de céramique du Néolithique tardif confirment la période. Constitués à 95% d'argiles et de limons disposés en lamines riches en diatomées, ces dépôts ont un faciès lagunaire à micrites et efflorescences salines en amont du seuil de Librilla. En aval, le faciès est fluviatile et hydromorphe. L'écoulement des cours d'eau était de faible énergie. Vers le sommet de la nappe Néolithique les sables deviennent nombreux et témoignent d'un hydrodynamisme plus marqué lié à un climat plus humide par rapport à la période antérieure beaucoup plus aride. L'absence d'éléments détritiques grossiers permet de déduire que le climat méditerranéen était plus atténué que de nos jours.

## 2.2. C'est à partir de l'Holocène moyen que le régime des précipitations devient plus irrégulier et prend un caractère torrentiel.

Une deuxième séquence détritique entaille et recouvre la première. Elle a une puissance de 7 à 8 mètres et se caractérise par un faciès fluvio-torrentiel. Elle a été mise en place par des courants de forte énergie. Elle se compose de bancs de sables et de graviers renfermant des tessons de céramique du *Chalcolithique* et de bancs de blocs et de galets emballés dans une matrice de sables grossiers et mal triés. Les origines de l'emballlement de la morphogénèse s'expliquent par la reprise de l'activité tectonique de la faille d'Alhama (Silva et al., 2003), la modification du régime des précipitations (climat méditerranéen contrasté) et une anthropisation croissante des versants. Elle s'est traduite par la progradation des faciès grossiers, provenant des torrents de l'Algeciras et du Librilla, sur les faciès plus fins apportés par le *río Guadalentín* dans la zone distale. Cette séquence détritique se termine par la formation d'un paléosol riche en macro restes archéologiques, daté ca. 3 888 BP (Calmel-Avila, 2000).

Une troisième séquence entaille et recouvre la nappe du Chalcolithique (*figure 2*). Développée entre 3800 et 2500 BP, elle appartient au *Bronze final et au Fer ancien*. C'est la plus puissante des trois avec une épaisseur maximale de 6 à 10 mètres. Elle conserve un caractère torrentiel par la grande



hétérogénéité de son matériel. Mais l'énergie des cours d'eau diminue au fur et à mesure du remplissage du fossé du Guadalentín et de l'espacement des précipitations torrentielles dans le temps. Ce granoclassement positif des sédiments se termine vers 2500 BP, comme le confirme le paléosol conservé au toit de cette séquence. Cette nouvelle nappe prend un grand développement dans la zone de confluence de l'Algeciras et du Librilla. Elle est alimentée par l'érosion régressive des torrents venus de la Sierra de Espuña. Elle est aussi provoquée par le rejeu de la faille d'Alhama comme l'atteste l'inclinaison des nappes alluviales (Silva et al., 2003). Mais il a fallu des précipitations torrentielles récurrentes pour mobiliser et modeler les cônes détritiques construits au débouché des cluses de l'Algeciras et du Librilla.

Figure 2. Contact ravinant entre la nappe fluvio-torrentielle du Bronze final et la nappe limono-argileuse du Néolithique. La nappe intermédiaire du Chalcolithique a été localement érodée (confluence Algeciras-Guadalentín).

## **3. L'analyse stratigraphique des dépôts historiques met en valeur une nouvelle séquence humide.**

Après une phase d'incision rapide des dépôts accumulés depuis 6500 BP, la sédimentation reprend. Mais elle est différente de part et d'autre du seuil de Librilla. En amont, elle est très étendue ; elle entaille et recouvre les nappes alluviales de l'Holocène moyen sur une épaisseur de 4 mètres environ dans l'axe de la vallée. En aval, elle ne forme plus qu'un mince lambeau alluvial qui s'inscrit dans les lobes de méandres des *ramblas* et le long du *río Guadalentín*. Cette différence est liée à la néotectonique du petit bassin d'Alhama. Là encore, il a fallu le concours des précipitations pour répartir le matériel dans la gouttière tectonique en voie de subsidence. L'étude stratigraphique détaillée fait apparaître deux séquences alluviales datées. La première a une épaisseur de 2 mètres et se compose de lits sablo-limoneux riches en gastéropodes. Elle se développe à partir de 2300 BP. Elle correspond à un alluvionnement de faible énergie dans un climat marqué par le retour à l'aridité. Une seconde séquence, plus puissante recouvre les restes d'un paléosol daté 650 BP qui termine le premier épisode. Elle a un faciès bien hétérométrique et correspond au « petit âge glaciaire » (Méditerranéen atténué). En l'absence de datation au toit de cette dernière nappe, on peut estimer que l'achèvement de la sédimentation a dû commencer vers le milieu du XIXe siècle.

## **Conclusion.**

L'étude sédimentologique de la vallée du Guadalentín a permis de dégager, à travers l'analyse stratigraphique des alluvions, l'existence de deux phases principales d'alluvionnement, l'une majeure, composée de trois séquences progradantes attestant une véritable crise morphogénique entre 4500BP et 2500 BP, l'autre, moins puissante, est attribuée à la période historique. L'engravement de la vallée a donc été très irrégulier dans le temps. Il met en valeur la dégradation de la pluviométrie dans le cadre d'un climat méditerranéen plus contrasté que de nos jours dans la seconde moitié de l'Holocène moyen. L'analyse stratigraphique fait apparaître aussi l'existence de phases plus humides au Néolithique (7000-5000 BP) et durant le « petit âge glaciaire » historique dans le cadre d'un climat méditerranéen atténué.

## **Bibliographie**

CALMEL-AVILA, M. (2000). Étude des paléoenvironnements holocènes dans le bassin du Bas-Guadalentín (région de Murcie, Espagne). *Géomorphologie*, 3, pp. 147-160.

CUENCA PAYÁ, A. & WALKER, M.J. (1986). Palaeoclimatic, palaeoenvironmental and anthropic interactions in S.E. Spanish Holocene Prehistory. Part 1 : Climatic and environmental evolution, pp.59-61 ; in F. López Bermúdez, & J.B. Thornes (eds.) *Estudios sobre geomorfología del Sur de España, Murcia, Universidad de Murcia, Murcia*.

SILVA, P.G. ; BARDAJÍ, T ; CALMEL-AVILA, M ; GOY J.L. ; ZAZO, C. ; F. BORJA (2003). Landscape changes due to earthquakes and tectonic uplift in the Iberian Peninsula littoral zone during the last 20 000 years. CIESM, Santorini (Greece), 22-25 october 2003.

## UN AN DE MONITORAGE SUR LE "FUNGO DE PIANA CRIXIA": CONSIDÉRATIONS SUR LE POTENTIEL EROSIF DU CLIMAT.

G. BRANCUCCI et G. PALIAGA

Dipartimento POLIS Università di Genes - Stradone S. Agostino, 37 16123 Gênes  
Tél. +390102095788 Fax +390102095843 [brancucci@arch.unige.it](mailto:brancucci@arch.unige.it) - [gpaliaga@arch.unige.it](mailto:gpaliaga@arch.unige.it)

### Résumé

Après un an (2004) d'observations instrumentales pour l'étude de l'action climatique sur le très bel héritage géomorphologique (géosite) nommé « Fungo » (champignon) de Piana Crixia (Savona, Italie) menacé dans sa stabilité par les agents d'érosion, les auteurs font des considérations sur le potentiel érosif à l'œuvre des agents climatiques.

**Mots clés:** Climat, érosion, géosites.

### Abstract

The first year of meteorological monitoring of the Piana Crixia "Mushroom" (Savona, Italy) allows the author to give some preliminary observation about the weathering processes that cause the erosion of the natural heritage.

**Key words:** Climate, erosion, geosites.

### Introduction

Le "fungo" (champignon) de Piana Crixia, (Issel, 1892; Rovereto, 1939; Andri e Lorenz, 1969; Andri, Bonino, Gerbaudo, 1995), représente un des éléments les plus importants du patrimoine géologique (géosites) ligurien et il possède presque certainement une valeur scientifique de niveau européen ; il est situé dans le Parc Régional de Piana Crixia en Province de Savone.

Nous avons installé près du « fungo » (coordonnées 8° 18' 40'' long W 44° 28' 34'' Lat N se référant au méridien de Roma et à 289 m s.n.m., exposition du versant Sud) une station météoclimatique Weatherlink Vantage Pro. Le relevé des données, toutes les demi-heures, est relevé à distance en utilisant un téléphone cellulaire relié à un ordinateur et à un modem.

Le "Champignon" est menacé par les agents climatiques, (Brancucci & Paliaga, 2004) et en particulier par l'action des cycles de gèle et dégel.

### 1. Cadre de l'étude.

La cryoclastie dépend des caractéristiques de la roche et des modalités avec lesquelles les oscillations de la température se manifestent. En particulier, porosité, présence de discontinuité et hétérogénéités de la roche sont les principaux facteurs prévoyants qui déterminent la vulnérabilité de la roche même aux processus d'altération. L'efficacité de l'action de l'eau, en relation avec la porosité, est en outre liée à la dimension des pores et à leur degré de saturation. Il a été observé (Chen et alii, 2004) que, quand le pourcentage des pores saturés est supérieure à 70% le changement d'état de l'eau exerce effectivement une pression dans les pores mêmes, dans le cas contraire elle est expulsée sans qu'on ait des significatives pressions interstitielles. Particulièrement intéressant est le modèle proposé par Mutlutürk et Alii (2003) qui, par des expériences de laboratoire, observe qu'une roche soumise à des cycles gèle/dégèle perd progressivement son intégrité selon la relation :

$$I_N = I_0 e^{-\lambda N}$$

$N$  = nombre des cycles de gèle et dégel

$I_0$  = état d'intégrité initiale du échantillon

$I_N$  = état d'intégrité après  $N$  cycles de gèle et dégel

$\lambda$  = constante caractéristique du matériel

Grace à l'expérience menée par l'auteur sur lithologies différentes, on arrive à définir une sorte d'indice de « dégradation » du matériel pour le quel on peut obtenir le nombre de cycles gél/dégél nécessaires pour avoir la division par deux de l'intégrité du échantillon. De telles valeurs varient d'un minimum de 85 à un maximum de 245 cycles avec des températures entre + 20 °C et - 20 °C. A.J. Klemm et P. Klemm (1997) ont en outre observé sur des échantillons de ciment caractérisés par de hautes valeurs de porosité, l'importance de la microstructure du matériel et en particulier l'influence de la dimension des pores dans la progression de la dégradation. Les auteurs que ce les pores de dimensions plus petites (300-3000 nm) qui déterminent la majeure dégradation de la structure. En effet dans les pores plus petits et pour les températures de -8°C/- 13°C la congélation se produit plus rapidement qu'en présence de pores de plus grandes dimensions. La vitesse de refroidissement et celle de l'échauffement est mise en évidence par Hall (2001) en tant qu'élément important dans les processus de cryoclastie, ces derniers semblent en outre être fortement favorisée par l'humidité de l'air qui détermine des phénomènes de condensation d'eau dans les fentes et les pores de la roche en concomitance avec le refroidissement.

### 3. Les cycles gél/dégél sur le « Fungo » de Piana Crixia

Le tableau 1 reporte la synthèse des moyennes des températures maximales (TM) minimales (Tm) et les températures moyennes mensuelles (Tmoi), ainsi que les cumuls mensuels des précipitations (P).

Tab. -1 – Synthèse mensuelle des données remarquées pour l'an 2004

|           | J    | F    | M    | A    | M    | J    | JJ   | A    | S    | O    | N    | D    |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TM (°C)   | 6,4  | 9,8  | 12,5 | 18,1 | 21,0 | 27,2 | 29,5 | 29,2 | 25,9 | 18,7 | 12,7 | 8,6  |
| Tm (°C)   | -3,1 | -1,7 | 0,3  | 3,8  | 7,7  | 12,6 | 13,3 | 15,0 | 11,0 | 9,5  | 2,5  | -1,0 |
| Tmoi (°C) | 0,9  | 3,1  | 5,7  | 10,6 | 13,8 | 19,4 | 20,9 | 21,4 | 17,5 | 13,6 | 6,9  | 2,8  |
| P (mm)    | 25,0 | 55,8 | 4,8  | 80,4 | 60,2 | 5,6  | 3,8  | 33,4 | 11,2 | 41,8 | 42,6 | 37,8 |

Au cours de l'année solaire 2004 les observations ont permis de reconnaître la présence de quatre-vingt cycles de gél et dégel dont les caractéristiques de durée et d'intensité sont reprises dans le graphique de figure 1.

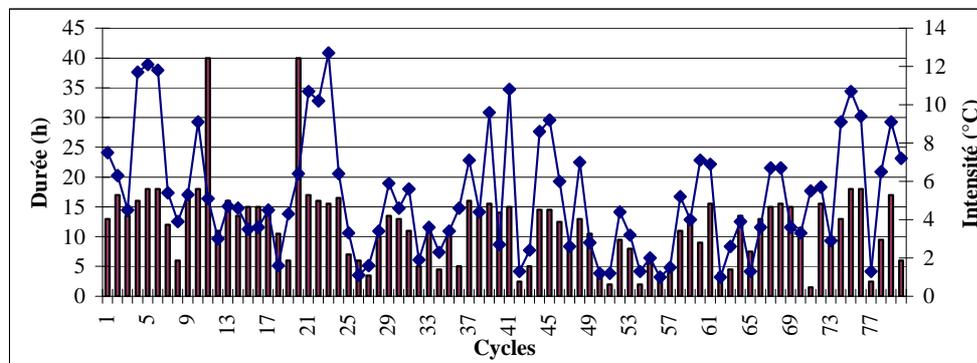


Figure – 1 – Durée, en baton, et intensité, en ligne, des cycles gél/dégél observés pendant l'année 2004.

Le 81,25% des cycles observés montrent une intensité (comme différence entre la température la plus grande et la moindre à l'intérieur du cycle) comprise entre 2 et 8 °C (médianes 5°C) (Figure 2a). En ce qui concerne la durée de la température en-dessous 0°C, dans 97,5% des cas on ne dépasse pas 20 heures (médianes de 13 heures) (Figure 2b).

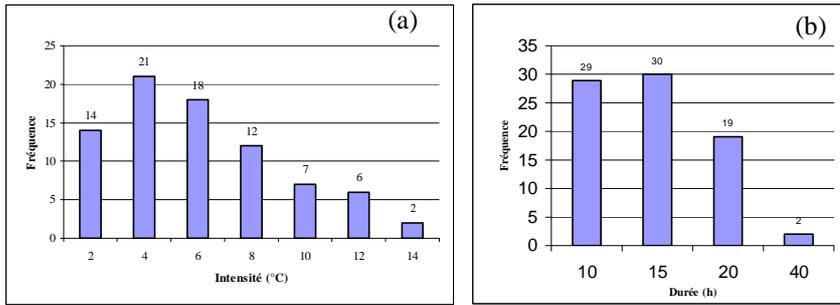


Fig. 2: répartition en classes de fréquence absolue d'intensité (a) et durée des cycles (b).

On a donc retenu préférable approfondir les analyses en enquêtant le comportement de la température dans le temps de l'instant où la même descend au dessous de 0°C jusqu'à à l'instant où elle remonte au-dessus de 0°C. Les cycles ont été ainsi reconduits à deux typologies (Figures 3).

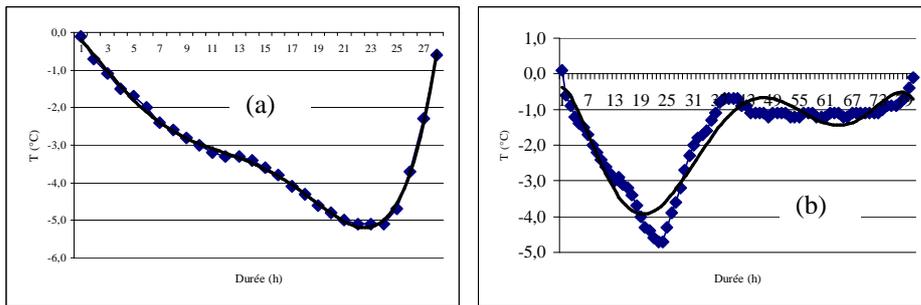


Fig. 3- Marche de la température pendant les cycles de gel/dégel.

70% des cycles peuvent être reconduits à une configuration de type a) où on observe un refroidissement lent et un échauffement plus rapide. Pour la typologie b) on observe des oscillations "internes" de la température aussi en remarquant toujours la présence d'une remontée de la température même plutôt rapide. En mettant en comparaison les vitesses de refroidissement/échauffement (Figure 4) subdivisées par classes de fréquence, on met en évidence comme la plus grande vitesse de refroidissement est comprise entre 1 et 1.5 °C/h, pendant que, pour ce qui concerne la remontée de la température on enregistre 2- 2,5°C/h avec des valeurs significatives de 5.0-5.5°C/h.

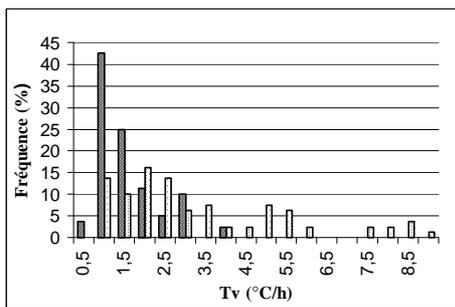


Fig. 4 : Fréquence (%) des vitesses de refroidissement (en gris) et d'échauffement à l'intérieur des cycles.

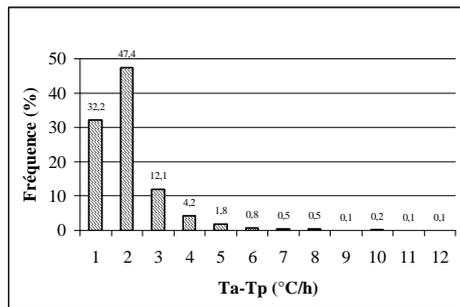


Fig. 5: Fréquence de la différence entre la température de l'air et le point de rosée.

L'humidité relative dans le site de la recherché résulte constamment haut (89,2% en moyenne). Pour une meilleure compréhension du phénomène de condensation, à l'intérieur des cycles, on a retenu opportun rechercher la marche des différences entre la température de l'air et le point de rosée en retenant cette valeur un bon indicateur du potentiel de formation de glace. Au-delà du 75% des valeurs examinées on se situe dans une différence entre 1°C et 2°C (Figure 5).

### Conclusions

Le fût du "Fungo" a une composition lithologique extrêmement hétérogène, liée par un ciment argileux. L'ensemble est donc caractérisé par une porosité élevée, par ailleurs distribuée de façon hétérogène sur la structure. Le ciment argileux présente, en outre, par sa nature, des pores de petite dimension. Ces caractères lithologiques, associés au degré d'humidité élevé sur le site, permettent d'affirmer que lorsqu'il est exposé à des températures négatives, le "Fungo" subit un "stress" provoqué par des pressions interstitielles de l'eau contenue à l'intérieur des pores. Des analyses détaillées effectuées sur les variations de température pour chaque cycle gel / dégel montrent que la thermoclastie a une certaine influence sur la dégradation du géosite. Ce résultat confirme donc l'hypothèse initiale selon laquelle la cryoclastie est le processus de base dans la dégradation du géosite, accompagnée par l'action érosive de la pluie, en particulier à la base de la structure du "Fungo". Nous pensons aussi chercher à estimer l'effet de la radiation solaire, en installant un capteur thermique au contact direct du fût, sur la paroi la plus exposée au soleil, de façon à confronter les données enregistrées avec les données standard déjà disponibles.

### Bibliographie

- ANDRI E. - BONINO E. - GERBAUDO S. (1995) - Un exemple d'érosion superficielle, le "Fungo" de Piana Crixia (Spigno, Italy): un témoin de l'évolution géomorphologique et tectonique régionale, in AA. VV., Pierres & Carrières. Géologie - Archéologie - Histoire, Association des Géologues du Bassin de Paris; Paris, pp. 135 -144.
- ANDRI E., Fungo di Piana Crixia (Savona). Descrizione e proposte per la sua conservazione. rapport inédit.
- BRANCUCCI & PALIAGA (2004) Monitoring climatic d'un élément morphologique: "Il Fungo di Piana Crixia". Actes du XVII Colloque International de Climatologie AIC, Caen 8-10 septembre 2004: Climat « Memoire du Temps ».
- HALL K. ANDRÉ M.F. (2001) New insights into rock weathering from high-frequency rock temperature data: an Antarctic study of weathering by thermal stress. *Geomorphology*, 41: 23-35.
- ISSEL A. (1892) *Liguria Geologica e preistorica*. 816 pp.
- LORENZ C. (1968) - Contribution à l'étude stratigraphique de l'Oligocene et du Miocene inférieur des confins liguro-piémontais. *Atti Ist. Geol. Univ. Genova*, 6, p.255-889.
- CHEN T.C., YEUNG M.R., MORI N. (2004) Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action. *Cold Regions Science and Technology*, 38: 127-136
- KLEMM A.J., KLEMM P. (1997) The effects of the alternate freezing and thawing cycles on the pore structure of cementitious composites modified by MHEC and PVA. *Building and Environment* vol. 32 n. 6: 509-512.
- MUTLUTÜRK M., ALTINDAG R., TÜRK G. (2004) A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 41:237-244.

## VARIATION DU CLIMAT ET EROSION DANS LA REGION DE LA COURBURE DE L'ARC CARPATIQUE (ROUMANIE)

L. ZAHARIA \*G. IOANA-TOROIMAC \*\*, S. RUSU \*\*\*, G. CHIRILA \*\*\*

\* *Faculté de Géographie, Université de Bucarest,  
Boulevard Nicolae Balcescu N°1, Secteur 1, 70 111, Bucarest, Roumanie*  
[zaharia@geo.unibuc.ro](mailto:zaharia@geo.unibuc.ro)

\*\* *Université de Sciences et Technologies de Lille France  
F- 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex*  
[gabriela\\_toroimac@yahoo.com](mailto:gabriela_toroimac@yahoo.com)

\*\*\* *Institut National de l'Hydrologie et Gestion de l'Eau,  
Sos. Bucuresti – Ploiesti, 97, Sect. 1, 013686, Bucarest, Roumanie*  
[simona.rusu@hidro.ro](mailto:simona.rusu@hidro.ro), [gianina.chirila@hidro.ro](mailto:gianina.chirila@hidro.ro)

### Résumé

Pour 7 bassins versants de la région de la Courbure de l'Arc Carpatique nous avons analysé et comparé la variabilité interannuelle (de 1961 à 2000) des pluies moyennes tombées sur leurs surfaces et les débits spécifiques moyens de matières en suspension aux exutoires. Des corrélations entre les deux paramètres ont été également faites, ainsi que l'analyse de la variabilité interannuelle des indices d'érosivité climatique aux stations météorologiques de la région. Les résultats obtenus montrent qu'il y a un certain lien entre la variation du climat et le taux d'érosion, mais elle n'est pas toutefois très forte (les coefficients de corrélations entre les pluies moyennes annuelles et les débits spécifiques de matières en suspension sont inférieurs à 0,5). Il y a donc d'autres facteurs intervenant dans les processus d'érosion (dont la géologie et l'usage des sols sont les plus importants) qui doivent être pris en considération pour mieux comprendre et maîtriser ces processus.

**Mots-clés:** pluies moyennes, taux d'érosion, indice d'érosivité climatique, la Courbure de l'Arc Carpatique

### Abstract

The study focused on 7 catchments in the Carpathian Curvature area. These were analyzed and compared from the standpoint of interannual variability of average precipitations (between 1961 – 2000) and of mean specific suspended load discharges recorded at hydrometric stations. Correlations between the two parameters were also achieved. For the meteorological stations in the area the indexes of climatic erosivity were determined and their interannual variation was analyzed. The final results show a certain correlation between climatic variability and the erosion rate, but its intensity is not very high though, as the correlation coefficients between mean annual precipitations at the catchments level and the specific suspended load discharges are lower than 0.5. This suggests there are other factors as well that intervene in the erosion processes (amongst geology and land use are the most important) and which must be taken into account for the better understanding of the erosion mechanisms in order to control them efficiently.

**Key-words:** average precipitations, soil erosion, climatic erosivity index, Carpathian Curvature area

### Introduction

La région d'étude correspond à la zone extérieure de la Courbure de l'Arc Carpatique, appelée habituellement la région de Courbure. Elle englobe deux unités morphologiques bien distinctes: un *espace montagneux* (appartenant aux Carpates) qui occupe la partie occidentale et un *espace collinaire* (appartenant aux Subcarpates ou Pré-carpates) qui le borde vers l'est, prolongé ensuite avec la plaine (l'extrémité nord-est de la plaine roumaine). En raison des conditions géologiques, morphologiques, climatiques et hydrologiques spécifiques, ainsi que de l'utilisation des sols, la région, notamment la région collinaire, est soumise à une forte érosion avec des conséquences sensibles sur les activités économiques. Le taux d'érosion y est bien supérieur à la moyenne nationale (qui d'après Mociornita et Birtu, 1987, est de 2,06 t/ha.an), dépassant par endroits 20 t/ha.an.

Ce travail propose d'analyser la dynamique de l'érosion des sols dans la deuxième partie du XX<sup>ème</sup> siècle (1961 – 2000) et son lien avec la variation du climat afin de mieux comprendre les mécanismes intervenant dans les processus d'érosion de cette région pour les combattre d'une manière efficace.

## 1. Données et méthodologie

Notre analyse est basée sur les données pluviométriques (précipitations mensuelles et annuelles) de 24 stations météorologiques (gérées par l'Agence Nationale de Météorologie – A.N.M.) et sur les débits moyens annuels de matières en suspension de 7 stations hydrométriques (propriété de l'Institut National d'Hydrologie et Gestion de l'Eau (I.N.H.G.A.), pour la période 1961 – 2000.

Les caractéristiques morphométriques, hydrologiques et climatiques des bassins versants analysés sont présentées dans le tableau 1. Les paramètres morphométriques correspondent aux limites des bassins versants établies sur les cartes hydrographiques 1:100 000 de *Atlasul Cadastrului apelor din Romania* (1992). Les altitudes moyennes des bassins versants ont été déterminées sur la base du modèle numérique de terrain GLOBE de NOAA (en utilisant le logiciel MapInfo version 6.5. et la routine Vertical Mapper version 3.0.

Tableau 1. Données caractéristiques des bassins versants analysés

| Rivière   | Station hydrométrique | F (km <sup>2</sup> ) | H <sub>moy</sub> (m) | Q <sub>moy</sub> * (1950-1996) |                        | R <sub>moy</sub> (1961-2000) |           | PA (1961-2000) (mm) | R <sup>2</sup> |
|-----------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------|----------------|
|           |                       |                      |                      | (m <sup>3</sup> /s)            | (l/s.km <sup>2</sup> ) | (kg/s)                       | (t/ha.an) |                     |                |
| Susita    | Ciuruc                | 179                  | 588                  | 1,29                           | 7,21                   | 3,33                         | 5,87      | 634,7               | 0,41           |
| Putna     | Tulnici               | 362                  | 990                  | 4,55                           | 12,5                   | 3,92                         | 3,42      | 713,5               | 0,39           |
| Milcov    | Golesti               | 395                  | 410                  | 1,39                           | 3,50                   | 18,4                         | 14,7      | 630                 | 0,18           |
| Rm. Sarat | Chiojdeni-Tulburea    | 170                  | 899                  | 1,62                           | 9,53                   | 9,19                         | 17,1      | 571,3               | 0,22           |
| Calnau    | Potarnichesti         | 193                  | 342                  | 0,443                          | 2,29                   | 8,27                         | 13,5      | 544,2               | 0,29           |
| Slanic    | Cernatesti            | 421                  | 595                  | 1,41                           | 3,35                   | 15,4                         | 11,5      | 569,4               | 0,31           |
| Prahova   | Campina               | 476                  | 1106                 | 8,02                           | 16,8                   | 10,9                         | 7,22      | 926,4               | 0,31           |

F = surface du bassin versant; H<sub>moy</sub> = altitude moyenne du bassin versant; Q<sub>moy</sub> = débit liquide moyen ;  
R<sub>moy</sub> = Débit de matières en suspension ; PA = pluie annuelle moyenne; R<sup>2</sup> = coefficient de corrélation entre la pluie annuelle moyenne et le taux d'érosion.  
\* D'après Zaharia, 2005.

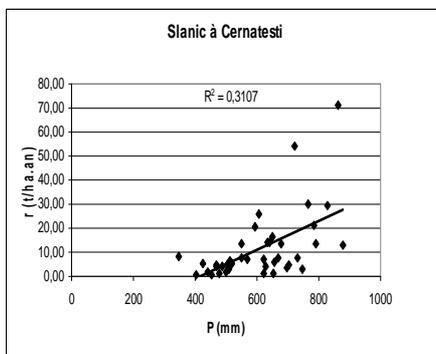


fig. 1 A

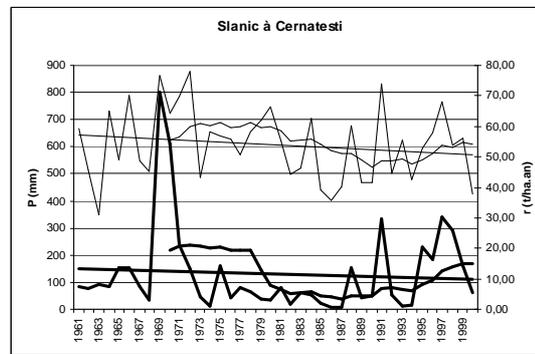


fig. 1 B

Afin d'identifier une éventuelle correspondance entre la variation du climat et celle de l'érosion, nous avons réalisé pour chaque bassin versant des graphiques illustrant à la fois la variabilité interannuelle (entre 1961 et 2000) des précipitations annuelles moyennes tombées sur les bassins versants (déterminées en interpolant par la méthode du *Voisinage Naturel* de la routine Vertical Mapper version 3.0., les précipitations annuelles des 24 stations météorologiques) et du taux

d'érosion correspondant aux exutoires (exprimé sous la forme des débits moyens spécifiques, en t/ha.an). Sur les mêmes graphiques on a ajouté aussi les droites de tendance et les moyennes glissantes sur 10 ans (fig. 1 A). Ensuite, pour quantifier le lien entre la variation du climat et du taux d'érosion, nous avons déterminé les coefficients de corrélation et tracé les droites de régression entre les précipitations moyennes annuelles sur les bassins versants et les débits spécifiques de matières en suspension (fig. 1 B). Une analyse complémentaire a porté sur la variabilité interannuelle et la tendance (de 1961 à 2000) des indices d'érosivité climatique, calculés pour les stations météorologiques de la région d'étude, comme rapport entre la quantité au carré des précipitations du mois avec le maximum pluviométrique et la somme des précipitations de toute l'année (Patroescu, 1996).

Fig. 1 A. *La variabilité interannuelle, la tendance linéaire et la moyenne glissée sur 10 ans des précipitations (trait fin) et des débits spécifiques de matières en suspension (trait gras) de la rivière Slanic à Cernatesti.* B. *La corrélation des précipitations moyennes annuelles sur le bassin versant (P) avec les débits spécifiques de matières en suspension (r).*

## 2. Variation de la pluviométrie et du taux d'érosion

Les graphiques réalisés montrent une correspondance relativement bonne entre la variabilité interannuelle des précipitations annuelles moyennes tombées sur les bassins versants et des débits spécifiques moyens annuelles de matières en suspension aux exutoires. Cette correspondance est bien mise en évidence par la même tendance linéaire à la baisse durant la période d'analyse et par les courbes des moyennes glissées sur 10 ans assez semblables (fig. 1 A), indiquant une variabilité relativement cyclique où périodes d'environ 9 – 12 ans avec des précipitations et des transports en suspension importants (1969 – 1981 ; 1991 – 1999) alternent avec de périodes où les deux paramètres ont eu des valeurs plus réduites (1961 – 1968, 1982 – 1990). Une rupture statistiquement significative dans la série de la pluviométrie (de 1961 à 1998), liée partiellement à l'Oscillation Nord-Atlantique, a été signalée entre les années 1980 et 1982 (Zaharia et al., 2002). Elle est assez évidente aussi dans la variabilité des transports de matières en suspension, comme les courbes des moyennes glissantes le montre (fig. 1 A).

Si visuellement les graphiques indiquent un lien entre la variabilité du climat et le taux d'érosion, ce lien n'est pas très fort, car les coefficients de corrélation entre les précipitations moyennes annuelles tombées sur les bassins versants et les débits spécifiques moyens de matières en suspension ( $R^2$ ) sont inférieurs à 0,5 (tableau 1).

Les indices d'érosivité climatique calculés pour les stations météorologiques de la région de la Courbure de l'Arc Carpatique, ont des valeurs moyennes comprises entre 25 (à Rm. Sarat, 152 m d'altitude) et 39,2 (à Lacauti, à 1776 m d'altitude). Pour la majorité des stations, les valeurs annuelles de ce paramètre ont eu durant la période 1961 – 2000 une tendance à la baisse, conforme à la tendance générale d'abaissement des précipitations annuelles.

## Conclusion

Dans la région de la Courbure de l'Arc Carpatique, il y a un certain lien entre la variation du climat et le taux d'érosion, mis en évidence par la variabilité interannuelle assez similaire des pluies moyennes tombées sur les bassins versants et les débits spécifiques de matières en suspension aux exutoires des bassins versants (et notamment par les tendances linéaires des deux paramètres et de leurs moyennes glissées sur 10 ans) pour la période 1961 – 2000. Les tendances linéaires correspondent généralement aussi à celle des indices d'érosivité climatique des stations de la région. L'intensité de la liaison entre la pluie moyenne et le taux d'érosion n'est pas toutefois très forte, car les coefficients de corrélations entre les pluies moyennes annuelles et le taux d'érosion sont inférieurs à 0,5, d'autres facteurs intervenant aussi dans les processus d'érosion. Par conséquent, pour mieux comprendre et maîtriser ces processus, il faut considérer à part les conditions

climatiques, d'autres facteurs, dont les plus importants sont la géologie, l'usage des sols et les activités anthropiques spécifiques à la région étudiée.

### **Bibliographie**

MOCIORNIȚĂ C., BIRTU E. (1987), Unele aspecte privind scurgerea de aluviuni în suspensie în România, *Hidrotehnica*, 7, București, 241 – 245.

PATROESCU NARDIN M., (1996), *Subcarpații dintre Ramnicu Sarat și Buzău, Potențial ecologic și exploatare biologică*, Ed. Carro, 125p.

ZAHARIA L., (1998), Tendances dans l'évolution des transferts de matières en suspension dans les Subcarpates de Courbure, en relation avec les modifications du milieu naturel, *Revue Géomorphologie: relief, processus, environnement*, nr.1, Paris, p. 3-15.

ZAHARIA L., BELTRANDO G., BIGOT S., OSZWALD J., PETRACHE R., (2002), Pluviométrie extrême, en période chaude, dans le bassin-versant de la Putna (Roumanie) et circulation atmosphérique sur l'Europe Centrale, *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Volume 14, Aix-en-Provence, p. 236 – 242.

ZAHARIA L. (2005), Studiul resurselor de apă din Carpații si Subcarpații Curburii, în *Lucrari și rapoarte de cercetare*, Editor F.Grecu, Ed. Universității Buc, 137 – 171.

Collectif (1987), *Geografia României*, vol. III, Ed. Academiei Române, București, 655 p.

Collectif (1992), *Atlasul Cadastrului apelor din România*, AQUAPROIECT, Bucuresti.

Modèle numérique de terrain (MNT) GLOBE de NOAA:

<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>.



## UN SCENARIO DE L'ALEA ENVIRONNEMENTAL DANS LA ZONE COMPRISE ENTRE T. SCRIVIA ET T. NURE

**P. BONI, A. CARTON, L. LAURETI, I. MAGGI, C. MEISINA, C. OTTONE, L.  
PELLEGRINI, F. ZUCCA**

*Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, Via Ferrata 1, 27100 Pavia  
[gisboni@unipv.it](mailto:gisboni@unipv.it)*

### Résumé

En hommage à notre collègue et ami le professeur R. Rossetti, nous avons ici réuni et présenté des informations significatives sur une partie de l'Apennin septentrional, capables d'interagir au sein d'un GIS pour produire un scénario d'aléa environnemental.

**Mots-clés:** Aléa environnemental, Italie du Nord, GIS.

### Abstract

As memory of our friend and colleague Roberto Rossetti, we show in this paper significant information about a particular area of the Northern Apennine, able to interact, inside GIS, in order to give an environmental hazard scenario.

**Key-words:** environmental hazard, Northern Italy, GIS

### Introduction

L'aléa environnemental, résultat de l'interaction entre facteur de prédisposition et facteur de vulnérabilité intrinsèque, est défini par plusieurs auteurs (Carrara *et al.*, 1995; United Nation, 1999; Chester, 2002, par exemple) comme la probabilité qu'un phénomène (érosion fluviale, dégradation des versants, etc) se réalise, sur un territoire précis, dans un intervalle de temps déterminé. Le territoire peut donc être vu comme un système dont les composantes fondamentales, aussi bien naturelles qu'anthropiques, trouvent un équilibre susceptible d'être troublé par l'impact d'un élément perturbateur. Chaque rupture d'équilibre est suivie par une adaptation des éléments du système, et la formation et l'évolution du paysage est le résultat de la succession d'états "d'équilibre" et "à la recherche d'un équilibre".

### 1. Facteurs de prédisposition: le territoire et ses problématiques

La zone examinée présente un paysage assez articulé, caractérisé par des montagnes autour de 1700 m, par des zones collinaires et de moyenne altitude autour de 800 m et par le piémont entre la plaine et les collines, dont l'altitude varie entre 100 et 500 m. Il s'agit d'une portion de l'Apennin septentrional sillonnée par les affluents de droite du Pô, marquée par les événements géologiques et structuraux qui l'ont dessinée. Le secteur est situé dans une zone de raccord, où il y a eu la déposition du Bassin Tertiaire Piémontais (BTP), où les fronts des Apennins donnent sur les fronts alpins. Le cadre structurel est complété par d'importantes lignes tectoniques et par une série de failles locales bien en évidence. La zone présente donc plusieurs formations géologiques aux différentes caractéristiques lithologiques et géomécaniques, qui répondent différemment aux changements climatiques et environnementaux. Sur la base de ces considérations, les lithotypes relatifs aux nombreuses formations géologiques présentes ont été ainsi réunis (Boni *et al.*, 2001). *Ensemble de roches cohérentes*: conglomérats; grès; ophiolites; jaspes; diabases; granits; calcaires à Calpionelle. *Ensemble des roches marneuses et marneuses-arénacées*: marnes et argilites avec de rares

intercalations arénacées; arénites, marnes et marnes argileuses, argilites. *Ensemble des alternances*: marnes et marnes calcaires avec des intercalations arénacées; marnes calcaires interstratifiées avec des argiles; arénites interstratifiées avec des argiles; marnes, marnes calcaires, grès et argiles désarticulées. *Ensemble des argilites*: argile à structure écaillée avec des strates intermédiaires de matériaux pierreux et des argiles englobant des fragments de pierre. *Ensemble des roches incohérentes et semi-cohérentes*: graviers, sables, limons et argiles (marins et continentaux). Du point de vue morphologique, la zone est très variée du fait de l'importante hétérogénéité des lithotypes affleurants: par exemple, les zones modelées sur les dépôts arénacées présentent des formes plus abruptes avec des reliefs plus prononcés. Par contre, la fréquence de composantes argileuses et marneuses donne un paysage doux et ondulé, mais extrêmement instable, avec un risque de mouvement de versants accentué. En ce qui concerne ce dernier aspect, la typologie la plus récurrente est celle de phénomènes de type complexe (glissements et coulées de boue); les chutes des blocs sont limités. Il s'agit pour la plupart de réactivations causées par des périodes de précipitations intenses, qui dans le secteur oriental occupent jusqu'à 40% du territoire. 90% des mouvements de terrain sont actifs ou en repos. De nombreuses zones ont été classées à risque de mouvement de versants "très élevé" ou "élevé". La plupart des mouvements de terrain (89%) impliquent des centres habités et/ou des infrastructures.

La présence de lithotypes argileux est souvent accompagnée de phénomènes de retrait-gonflement, particulièrement fréquents et efficaces dans la zone examinée à cause de la conjoncture climatique particulière. La profondeur de la zone intéressée par les variations du niveau d'eau ("zone active") ne dépasse pas généralement 1,5-2 m, mais elle peut atteindre 3-4 m en cas de périodes de sécheresse exceptionnelle. Les variations de volume des terrains argileux, qui peuvent atteindre jusqu'à 25% de l'ensemble des argilites, ont des conséquences négatives surtout sur les fondations des édifices et sur les routes, documentées par les nombreux dommages causés aux constructions. La gravité du phénomène, qui nécessite des financements et des interventions d'assainissement, est mise en évidence par ses conséquences économiques; le coût de la remise en état des édifices endommagés a eu une incidence estimée entre 15% et 25% par rapport à la valeur commerciale des constructions.

## 2. Les facteurs déclenchants

Relativement aux problématiques de dégradation de la zone en question, parmi les éléments perturbateurs qui ont le plus grand impact, il faut citer les précipitations. L'érosion de la pluie battante prend une importance considérable dans la dégradation des versants, la présence de l'eau a une influence sur les facteurs de prédisposition des phénomènes d'éboulement, et la variation du contenu en eau provoque une variation du volume des terrains argileux. Dans cette optique, à la lumière de ce qui a été décrit précédemment, nous avons utilisé les données de 98 stations pluviométriques, publiées par le Service Hydrographique Italien. Les stations ont été géoréférencées, associées à des informations descriptives (code, nom, commune, compartiment, bassin hydrographique d'appartenance, altitude, type de données – mensuelles, ou journalières – et période pendant laquelle elle sont disponibles), à des données pluviométriques de base et aux élaborations correspondantes. 82 stations disposent de totaux mensuels et annuels (1921/90), 16 des lames d'eau journalières (1951/91). Leur distribution sur le territoire, assez homogène, mais sûrement disproportionnée par rapport au type de données citées, nous a amenés à procéder par le biais de parcours différenciés. En première instance (sur toutes les stations) nous nous sommes chargés de repérer des zones avec un potentiel d'érosion homogène en utilisant l'Index de Fournier modifié, proposé dans le cadre du projet Corine (Corine, 1990), qui le considère comme un bon indicateur qualitatif de l'érosivité des pluies. Sur la base des valeurs moyennes de cet indice, ne figurent que les

classes de pluviocvariabilité de 3, modérée (valeurs > 90-120) à 5, très forte (valeurs > 160), qui se suivent de façon cohérente au fur et à mesure de l'augmentation des altitudes. Il est intéressant de rappeler comment il a été reconnu (Maggi I. *et al.*, 2003), sur une base annuelle, un comportement ondulatoire (ceci également pour le total annuel moyen de pluie), dans lequel l'analyse du spectre (Bloomfield P., 1976) a mis en évidence une harmonique principale, généralisée, de 23,3 ans, et des cycles secondaires différenciés. Par la suite, pour mettre en évidence le caractère exceptionnel de la récurrence d'événements pluviométriques extrêmes, et en réduisant le champ d'investigation aux seules stations pourvues de données journalières, nous avons identifié pour chacune d'elles les maxima et les minima annuels de pluie cumulés en plusieurs journées consécutives.

| stations              | cod. | moyenne | max.  | min. |
|-----------------------|------|---------|-------|------|
| Val Noci Diga         | 1617 | 66,2    | 122,8 | 14,8 |
| Cabella Ligure        | 1634 | 40,3    | 128,2 | 0,0  |
| Tortona (Castello)    | 1642 | 25,5    | 74    | 1,0  |
| Varzi                 | 1655 | 31,2    | 88    | 0,0  |
| Voghera               | 1661 | 18,2    | 67    | 0,0  |
| Montalto Pavese       | 1664 | 32,3    | 81,6  | 5,4  |
| Pecorara              | 1672 | 35,9    | 90,2  | 0,0  |
| Giardino Rondanina    | 1684 | 63,9    | 153   | 7,5  |
| Diga del Brugneto     | 1686 | 63,9    | 147,2 | 16,4 |
| Loco Carchelli Centr. | 1691 | 57,2    | 137   | 3,8  |
| Cabanne               | 1702 | 71,6    | 211   | 3,0  |
| Boschi d'Aveto Diga   | 1707 | 60,2    | 146,4 | 9,6  |
| Bobbio                | 1713 | 40,1    | 87,8  | 6,8  |
| Perino                | 1715 | 38,2    | 82,4  | 6,0  |
| S. Lazzaro Alperoni   | 1719 | 32,2    | 97    | 6,2  |
| Ferris                | 1723 | 46,8    | 136,5 | 1,1  |

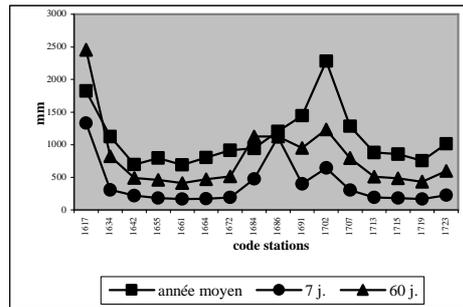


Figure 1: total annuel moyen et seuils de non-dépassement, par temps de retour de 23 ans, des pluies accumulées en 7 et 60 jours.

Des durées de 7 et de 60 jours ont été choisies pour définir non dépassement des maxima d'humidité, en vérifiant temps de retour de 23 ans, représenter (fig. 1) un pourcentage

moyenne annuelle. Les maxima d'aridité de 60 jours, souvent avec une absence totale de pluie (tab. 1), correspondent aux conditions de minima estivaux typiques de cette zone. En effet, si les précipitations d'automne et de printemps sont associées (Giuliaci M., 1998) aux situations de sirocco qui intéressent la zone de façon fréquente et persistante, en été les pluies sont engendrées uniquement par l'activité orageuse. Enfin, parmi les facteurs déclenchants il ne faut pas sous-évaluer l'intervention de l'homme: même s'il a privilégié de s'installer sur les zones sommitales et sur les dorsales collinaires, il s'est aussi intéressé aux versants, opportunément déboisés, pour ses principales activités agricoles (cultures céréalières, viticulture, etc). À ce propos il faut remarquer que dans la zone considérée, à partir de la seconde moitié du siècle dernier, de nouvelles techniques agricoles ont été introduites, imposées par le recours à la mécanisation, et elles ont entraîné la substitution de la culture traditionnelle à *girapoggio* (suivant les courbes de niveau) par une organisation des rangées à *rittochino* (selon la pente), ainsi que l'élargissement des champs par l'élimination de tout élément qui réduisait la pente (terrassements). Simultanément, pour réduire les coûts de main-d'œuvre, toutes les interventions qui en apparence ne semblaient pas productives ont été redimensionnées ou abolies, tels les arrangements superficiels pour l'écoulement des eaux, le nettoyage et l'entretien des fossés. Tout ceci a eu pour conséquence non seulement la

Table 1: maxima d'aridité de 60 jours. Valeurs moyennes, maxima et minima (1951/91)

modification du paysage agraire, mais aussi l'accélération des phénomènes de dégradation hydrogéologique.

### **Conclusion**

Ces informations, minutieusement paramétrées, constituent des bases de données géographiques, superposables, en mesure d'être associées dans le but d'établir une "carte de l'aléa environnemental", pour identifier des relations qui autrement ne seraient pas clairement évidentes et/ou que l'on ne pourrait pas immédiatement percevoir.

### **Bibliographie**

BLOOMFIELD P., 1976: *Fournier analysis of time series: an introduction*, Wiley & Sons, New York

BONI P., CARTON A. & PELLEGRINI L., 2001: *Data processing and their assessment for the research of the hydrographic evolution in relation to neotectonics*. Poster Workshop "Uplift and erosion: driving processes and resulting lanform" INQUA Neotectonics Commission, September 20 and 21. 2001, Certosa di Pontignano, Siena

CARRARA A. et al., 1995: *GIS technology in mapping landslides hazard*, in : Carrara A. e Guazzetti F.(Editors), *Geographical Information Sistem in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Pub., Dordrecht, The Netherlands: 135-175

CHESTER D. K., 2002: *Overview: Hazard and Risk*, *Applied Geomorphology: Theory and Practise*, Edited by R.J. Allison, J.Wiley and S., Ltd. 251-263

CORINE, 1990: *Soil erosion risk and important land resource in the southern regions of the European Community*, EUR 13233 EN

GIULIACCI M., 1998: *Climatologia fisica e dinamica della Valpadana*, E.R.S.A., Servizio Meteorologico Regionale, Bologna

GUMBEL E. J., 1967: *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.

MAGGI I. et al., 2002: *Evénements pluviométriques critiques et graves éboulements: l'exemple de l'Oltrepo de Pavie et de Plaisance*, Publications de l' A.I.C., 14 :228-235

MAGGI I. et al., 2003: *Analyse des maxima d'aridité pour des périodes prédéterminées dans l'Oltrepo de Pavie et de Plaisance (1951-1991)* .Atti del XVI Colloque de l'A.I.C., "Les relations Climat-Hommes-Climat", 10-13 Sept. 2003, Varsovie, Pologne

MAGGI I. et al., 2003: *Spatial-temporal precipitations analysis in the area between Scrivia T. and Nure T. (Northern Italy)*, *Quaternary International* 101-102 (2003): 149-156

SERVIZIO IDROGRAFICO, Ministero LL.PP., Ufficio Idrografico del Po, Parma, *Annali Ideologici*, Parte I, Vol. 1951-1991

UNITED NATIONS, 1999: *International Decade for Natural Disaster Reduction: Successor Arrangement*, United Nations, New York

# LES PLUIES TORRENTIELLES DE L'OUEST DES MONTAGNES APUSENI (LES CARPATES OCCIDENTALES DE LA ROUMANIE) ET LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

G. MĂHĂRA et O. GACEU

Université d'Oradea, Faculté d'Histoire-Géographie, Département de Géographie, Tourisme et Aménagement du territoire, Oradea, 5 rue Armatei Române, Roumanie  
mahara@uoradea.ro, gaceu@yahoo.com

## Resumé

On présente les caractéristiques et l'impact des pluies torrentielles sur les pentes d'ouest des Monts Apuseni. On a utilisé les données de 9 stations météorologiques pour la période 1961-2000. On a étudié l'intensité, la durée, la quantité d'eau résultant des précipitations torrentielles et on a présenté l'impact des pluies sur le milieu.

**Mots-clés :** pluies torrentielles, Montagnes Apuseni, impact, environnement.

## Abstract

The paper presents the main features and the impact of torrential rains over the environment of the west of Apuseni Mountains. For this purpose, basing upon the data resulted from the meteorological observations in the period 1961-2000 of 9 stations we analysed the intensity, the duration, the quantity of water generated by the torrential rains, and finally we presented the impact of the rains over the environment.

## Introduction

Les pluies torrentielles tombent pendant la période chaude de l'année à la suite de l'activité cyclone océanique et méditerranéen. Dans leur déplacement vers le continent, les masses d'air humide rencontrent le barrage orographique représenté par les Montagnes Apuseni, entrent en mouvement ascendant qui détermine la détente adiabatique de l'air, la condensation des vapeurs d'eau et la chute des pluies torrentielles. Celles-ci génèrent de grandes quantités d'eau qui tombent pendant un intervalle de temps très court, donc ont une grande intensité et déterminent de très grandes inondations qui peuvent avoir des effets très graves sur les constructions et les emplacements humains surtout si on prend en compte les conditions orographiques particulières de cette région, ainsi que les processus d'érosion accélérée sur les versants plus ou moins dénudés de végétation forestière.

## 1. Méthode

Tout en nous basant sur les données résultant des observations météorologiques de la période 1961-2000 de 9 stations on a analysé l'intensité, la durée, la quantité d'eau générée par les 5 plus grandes pluies torrentielles, et à la fin on a présenté l'impact des pluies sur l'environnement.



Fig.1. L'emplacement géographique de la zone investiguée (aire hachurée)

## 2. Résultats

Dans l'ouest des Montagnes Apuseni les plus grandes intensités des pluies torrentielles sont enregistrées dans les dépressions occidentales exposées à la circulation océanique, à savoir Borod avec 8,5 mm/min, et les plus faibles sur le versant oriental, („sous vent”), où l'intensité maximum des pluies torrentielles n'a jamais dépassé 5,0 mm/min (Câmpeni). Sur les cimes

les plus hautes, à Vlădeasa 1800m, l'intensité maximum des pluies torrentielles n'a jamais dépassé 7,9 mm/min (tabl. 1).

Tableau 1. L'intensité maximum, la durée de l'intensité maximum et la quantité des précipitations générée par les pluies torrentielles de l'ouest des Montagnes Apuseni

| Station                | Imax (mm/min) | Durée (min) | Quantité des précipitations (mm) | Vitesse du vent (m/s) | Date       |
|------------------------|---------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|------------|
| Gurahonț (177 m)       | 7,9           | 1           | 7,9                              | 3                     | 10.06.1983 |
| Borod (333 m)          | 8,5           | 1           | 8,5                              | 1                     | 31.07.1985 |
| Huedin (560 m)         | 5,8           | 1           | 5,8                              | 5                     | 23.06.1973 |
| Câmpeni (591m)         | 5,0           | 2           | 10,0                             | 3                     | 20.07.1982 |
| Stâna de Vale (1108 m) | 5,7           | 1           | 5,7                              | 0                     | 20.08.1985 |
| Băișoara (1360 m)      | 7,9           | 1           | 7,9                              | 2                     | 21.08.1992 |
| Vlădeasa 1400 (1404 m) | 4,8           | 1           | 4,8                              | 0                     | 07.08.1997 |
| Vlădeasa 1800 (1836 m) | 7,9           | 1           | 7,9                              | 0                     | 15.07.1998 |

Source: données traitées selon l'Archive de l'Administration Nationale de Météorologie Bucarest

A l'ouest des Montagnes Apuseni la durée maximum des pluies torrentielles a dépassé 10 minutes à toutes les stations météorologiques. La plus longue durée maximum a été enregistrée à Gurahonț, où les précipitations torrentielles du 9.08.1968 ont duré 16 minutes, au bout desquels on a enregistré 33,2 mm de pluie, donc la pluie a eu une intensité de 2,08 mm/min. (tabl. 2).

La plus courte durée maximum a été enregistrée aux stations Borod et Stâna de Vale, où les pluies torrentielles du 08.08.1976 et le 23.06.1982 ont duré 10 minutes, ont déterminé 7,9 et 9,9 mm de précipitations, l'intensité de ces pluies étant de 0,79 et 0,99 mm/min.

Sur les altitudes les plus hautes des Montagnes Apuseni, à Vlădeasa 1800, la pluie torrentielle la plus longue a duré 13 minutes, a généré 7,3 mm de précipitations, ayant une intensité de 0,56 mm/min et a été accompagnée d'un vent assez fort (10 m/s).

Tableau 2. La durée maximum et l'intensité, la quantité de précipitations et la vitesse du vent afférentes aux pluies torrentielles dans les Montagnes Bihor et Vlădeasa

| Station                | Durée max. (min) | Intensité (mm/min) | Quantité des précipitations (mm) | Vitesse du vent (m/s) | Date       |
|------------------------|------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------|------------|
| Gurahonț (177 m)       | 16               | 2,08               | 33,2                             | 0                     | 9.08.1968  |
| Borod (333 m)          | 10               | 0,79               | 7,9                              | 5                     | 8.08.1976  |
| Huedin (560 m)         | 12               | 0,84               | 10,1                             | 0                     | 11.06.1970 |
| Câmpeni (591 m)        | 16               | 0,68               | 10,9                             | 6                     | 22.07.1973 |
| Stâna de Vale (1108 m) | 10               | 0,99               | 9,9                              | 7                     | 23.06.1982 |
| Băișoara (1360 m)      | 12               | 0,83               | 10,0                             | 4                     | 27.07.1963 |
| Vlădeasa 1400 (1404 m) | 12               | 0,68               | 8,1                              | 20                    | 12.06.1992 |
| Vlădeasa 1800 (1836 m) | 13               | 0,56               | 7,3                              | 10                    | 23.07.1984 |

Source: données traitées selon l'Archive de l'Administration Nationale de Météorologie Bucarest

Pendant les pluies torrentielles on enregistre de grandes quantités d'eau, qui dépendent de l'intensité et de la durée des pluies, ainsi que des conditions génétiques de celles-ci. Ainsi, en général, les pluies torrentielles déterminées des fronts froids donnent les quantités les plus grandes de précipitations, parce que pendant leur durée le contraste thermo-barométrique est le plus élevé.

Les quantités maximum générées par les pluies torrentielles peuvent dépasser 30 mm et 33,2 mm à Gurahonț le 9.08.1968, pluie qui a duré 16 minutes et a eu une intensité de 2,08 mm/min. Aux autres stations des Montagnes Apuseni, la quantité maximum de précipitations générée par une pluie torrentielle a dépassé 10 mm (tabl. 3).

Tableau 3. La quantité maximum des précipitations, la durée maximum, l'intensité et la vitesse du vent afférentes aux pluies torrentielles de l'ouest des Montagnes Apuseni

| Station               | Quantité max. des précipitations (mm) | Durée (min) | Intensité (mm/min) | Vitesse du vent (m/s) | Date       |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------|--------------------|-----------------------|------------|
| Gurahonț (177m)       | 33,2                                  | 16          | 2,08               | 0                     | 9.08.1968  |
| Borod (333m)          | 10                                    | 4           | 2,50               | 7                     | 23.08.1974 |
| Huedin (560m)         | 10,2                                  | 4           | 2,55               | 0                     | 22.05.1977 |
| Câmpeni (591m)        | 10,9                                  | 16          | 0,68               | 6                     | 22.07.1976 |
| Stâna de Vale (1108m) | 10,2                                  | 8           | 1,28               | 0                     | 22.06.1998 |
| Băișoara (1360)       | 12                                    | 1           | 1,20               | 2                     | 1.06.1964  |
| Vlădeasa 1400 (1404m) | 9,6                                   | 6           | 1,60               | 0                     | 24.07.1992 |
| Vlădeasa 1800 (1836m) | 10,1                                  | 9           | 1,12               | 7                     | 19.06.1991 |

Source: données traitées selon l'Archive de l'Administration Nationale de Météorologie Bucarest

Dans ces conditions, les pluies torrentielles, même si elles sont très significatives du point de vue quantitatif ou qu'elles n'ont pas une intensité très grande, peuvent déterminer des processus accentués d'érosion sur les versants.



a



b

Fig. 2. Les effets de la torrentialité de l'ouest des Montagnes Apuseni: a) détail de Groapa Ruginoasă; b) le niveau jusqu'auquel l'eau est arrivée (la ligne ponctuée) dans certaines habitations dans la localité de Bratca à la suite de la pluie torrentielle du 26.07.1997.

Un exemple dans ce sens est constitué par Groapa Ruginoasă (fig. 2 a) située dans le Massif Țapu des Montagnes Bihor, qui représente le bassin hydrographique d'un ravin gigantesque formé à la suite de la dissolution d'une couche de calcaires de base, fait qui a déterminé la chute de la strate de grès rouges situés au-dessus de celle-ci. Suite à la pluvio-dénudation, à l'érosion éolienne, au gel-dégel, auxquels on a ajouté le déboisement du versant, le ravin est arrivé à de très grandes dimensions: plus de 100 m de profondeur et plus de 600 m de diamètre. L'érosion travaille même aujourd'hui très activement, creusant régressivement et augmentant vite ses dimensions. D'ailleurs, ce procès est très bien mis en évidence par les cartes anciennes, sur lesquelles, il y a 100 ans, le lieu était marqué par un petit vallon, tandis que, aujourd'hui, Groapa Ruginoasă, par son aspect particulier, rappelle un secteur du Grand Canyon du fleuve Colorado.

En plus, les déboisements intenses des derniers 15 ans et les versants inclinés ont contribué à la formation d'organismes torrentiels. Celles-ci, pendant les pluies torrentielles, favorisent le glissement du matériel des versants et la formation de cônes de déjection sur les routes-

mêmes d'accès dans les localités d'amont. Dans les régions plus basses, habitées, les pluies torrentielles constituent des phénomènes climatiques de risque car elles peuvent causer de grands déversements d'eaux accompagnés d'inondations très grandes. C'est le cas de la pluie torrentielle de Borod, (précédée d'une orage violente) du 26 Juillet 1999, qui a commencé à 16:55, a duré une heure et 50 minutes, durée pendant laquelle elle a généré 39,8 mm de précipitations, donc elle a eu une intensité moyenne de 0,36 mm/min et une intensité maximum de 0,91 mm/min. L'intensité maximum a duré 11 minutes, depuis 18:08 jusqu'à 18:19, durée pendant laquelle il a plu 15,8 mm.

Ce phénomène s'est produit dans une masse d'air chaud (plus de 31°C au sol), très instable, dans les conditions de l'extension de l'Anticyclone des Açores jusqu'au centre de l'Europe et de l'approfondissement de la minimum centrée au-dessus de la partie de sud du bassin de la Mer Noire (fig. 3). En même temps, en altitude, l'air chaud et humide dirigé par la dépression du sud de l'Italie a pénétré dans l'est de la Mer Méditerranée.

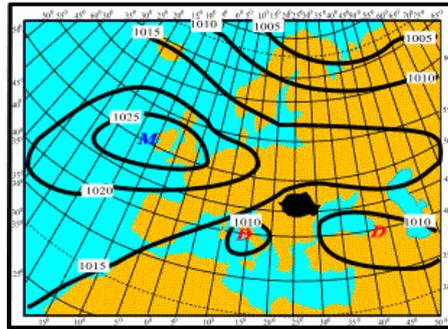


Fig. 3. Les conditions synoptiques qui ont favorisé la production des pluies torrentielles dans l'ouest des Montagnes Apuseni le 26.07.1999.

Ainsi, dans les conditions d'un champ ayant une pression relativement uniforme,

sans fronts atmosphériques, mais dans une masse d'air instable, se sont développés des nuages convectifs du genre Cumulonimbus, qui ont atteint des épaisseurs de plus de 11 km générant des quantités importantes de précipitations dans l'ouest des Montagnes Bihor et Vlădeasa: 45 mm à Zece Hotare, 42 mm à Vadu Crișului, 39,8 mm à Borod, 25 mm à Leșu et 23 mm à Gurahonț. Les effets de cette pluie ont été graves dans la localité de Borod à cause du ruisseau Topa de Criș, affluent de Crișul Repede, qui a débordé et a inondé 25 maisons, a détruit 10,6 km de rues, trois ponts et 176 ha de cultures agricoles.

Dans la localité de Bratca les effets ont été plus graves car la rivière Brătcuța a débordé et a inondé toutes les habitations, l'eau arrivant dans quelques maisons jusqu'au niveau des fenêtres (fig. 2 b). Les bords de la rivière Brătcuța ont été aussi érodés.

## Conclusions

Dans l'ouest des Montagnes Apuseni les pluies torrentielles déclenchent des processus accélérés d'érosion sur les versants, génèrent des inondations etc. L'effet destructeur des pluies torrentielles dépend de l'intensité, de la durée et de la quantité d'eau tombée, de la vitesse du vent pendant les précipitations et des caractéristiques de la surface active, de la taille de la pente, du degré de friabilité de la sous-couche lithologique, du degré de boisement de la superficie en question et du moment de l'année où elle se produit : si elle survient après une longue période de sécheresse quand le sol est très sec et la cohésion de ses particules est très réduite, la force de l'érosion de la pluie est très grande.

## Bibliographie

- BOGDAN, O., NICULESCU, E., 1999: *Riscurile climatice din România*, Sega International, București: 280.  
 CRISTEA, M., 2004: *Riscurile climatice din bazinul hidrografic al Crișurilor*, Edit. Abaddaba, Oradea: 186.  
 MĂHĂRA GH., 1979: *Câmpia Crișurilor - studiu fizico-geografic* în colecția "Cercetări în Geografia României", Ed. Științifică, București: 101.

## MODELS DU BILAN D'EAU DANS LE BASSIN VERSANT OCNA SIBIULUI

M. ALEXE, I. H. HOLOBĂCĂ, V. SOROCOVSCI

Universit  "Babeş-Bolyai", n  5-7, rue Clinicilor, 400006, Cluj-Napoca, Cluj, Roumanie,  
malexe@geografie.ubbcluj.ro, holobaca@geografie.ubbcluj.ro, [svictor@geografie.ubbcluj.ro](mailto:svictor@geografie.ubbcluj.ro)

### Résumé

Le bilan d'eau pour des bassins versant comme Ocna Sibiului est difficile à réaliser à cause de la manque des observations hydrologiques. Pour cette raison on a utilisé le model SCS-CN pour l'écoulement. A partir des cartes de la végétation, du sol et des précipitations on a obtenu les cartes d'écoulement. Le bilan a été estimé par l'analyse des précipitations, par l'écoulement et aussi par l'ETP calculé avec la methode Penman.

**Mots-clés:** bilan d'eau, model hydrologique, lacs salés.

### Abstract

Water balance for the basins as Ocna Sibiului is difficult to realize because of the lack of hydrologic observations. For this reason we have used the SCS-CN model for flood. Depending on the vegetation, soil and rain maps we have obtained the flood maps. This balance was estimated by using rain, flood and ETP values calculated with the Penman method.

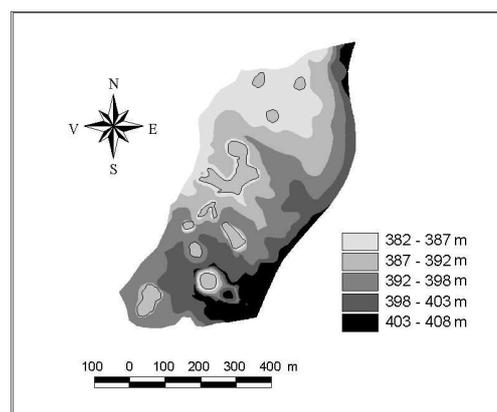
**Keywords:** water balance, hydrological model, salty lakes.

### Introduction

Les lacs de Ocna Sibiului représentent une catégorie d'unités aquatiques caractéristiques pour la zone marginale de la Dépression de la Transylvanie, Roumanie, leur existence étant liée à la présence et à l'exploitation du sel.

La majorité des lacs de la région analysée sont anthropo-salins, c'est à dire formés dans des salines abandonnées, une de leur particularité étant la configuration morphobatim trique de la cuvette – superficie réduite et grande profondeur – (le plus profond lac a 127,1 m). La forme initiale des lacs est, en règle générale, circulaire, mais ultérieurement par des processus comme les glissements, les écroulements et aussi à cause des dissolutions, ceux-ci subissent des changements considérables.

Du point de vue hydrographique, les lacs de Ocna Sibiului appartiennent au Bassin T rnava Mare – soubassin Visa, de la rivière au même nom, prenant sa source tout près de la localité. L'alimentation des lacs se fait principalement par des précipitations et par l'écoulement des versants, leur bassin de réception occupant une surface de 27,6 hectares (*fig.*



1).

Figure 1. Le complexe lacustre Ocna Sibiului (Modèle digital d'élévation)

Evaluation du bilan hydrique pour le complexe lacustre Ocna Sibiului

On a fait peu de mesurages hydrologiques sur les lacs salés, la détermination du bilan hydrique étant difficile à réaliser dans de telles conditions. Pour cette raison, pour pouvoir apprécier le plus correctement possible le volume des entrées et des sorties d'eau de cette catégorie de lacs, on va utiliser l'estimation par calcul des certains éléments du bilan (écoulement superficiel, évapotranspiration potentielle).

Pour l'évaluation de l'écoulement, respectivement la détermination du volume d'eau des précipitations, accumulé dans les lacs du bassin de réception, on a recours à l'utilisation du modèle SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number) en SIG (ArcView). C'est un modèle expérimental, qui utilise des informations sur le sol, la végétation, sur les conditions hydrologiques et sur les conditions précédentes en ce qui concerne l'humidité du sol.

A la base de cette méthode est la relation du bilan hydrique:

$$Q = P - F - Li$$

où:

Q = le volume écoulé

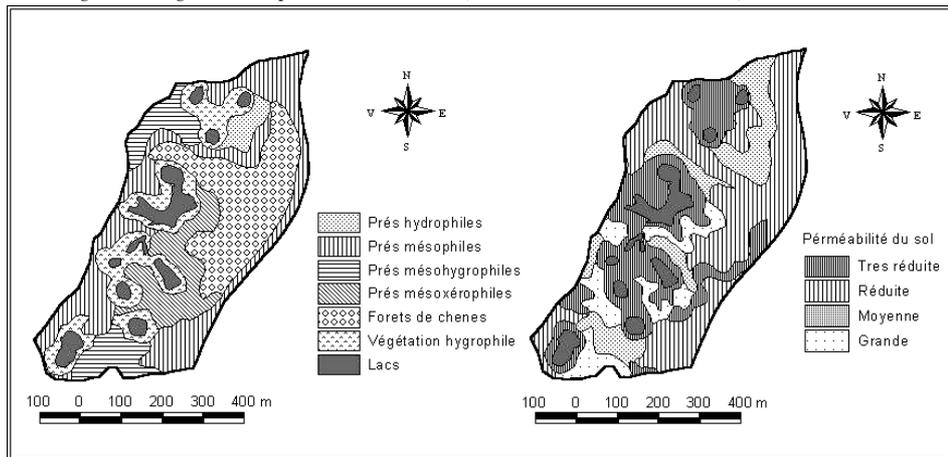
P = précipitations (pluies et la fonte des neiges)

F = les pertes à cause des infiltrations

Li = la somme des pertes initiales (interception, évapo-transpiration, différentes rétentions).

Après l'élaboration des cartes de la végétation et du sol (fig. 2) et leur importation dans le cadre du projet ArcView, les deux thèmes s'entrecroisent pour obtenir un thème composite dans lequel on retrouve tant les caractéristiques de la végétation, aussi que les types du sol.

Figure 2. Végétation et perméabilité du sol (bassin versant Ocna Sibiului)



On fait l'estimation de l'écoulement en utilisant la formule

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}, \text{ si } P \geq 0,2S$$

où Q = le volume écoulé, S = les paramètres de rétention de l'eau.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

où : CN = (curve number) = f (sol, management du sol, conditions d'humidité du sol).

Dans la formule mentionnée au-dessus le sol est classifié en 4 classes (A, B, C, D), en fonction des propriétés d'infiltration de l'eau: A – capacité d'infiltration élevée, B – capacité d'infiltration moyenne, C- capacité d'infiltration baisse, D – capacité d'infiltration très baisse. Le management du sol contient des indicateurs en ce qui concerne les catégories d'utilisation du terrain: (non cultivé, cultures agricoles, prés, pâturages, forêts), le mode d'exploitation du terrain (terasses) et les conditions d'exploitation.

Les conditions d'humidité du sol ont un rôle très important parce qu'elles ont des répercussions dans la vitesse d'infiltration, ayant pour effet une tendance d'infiltration en fonction de précipitations des derniers 5 jours.

Tenant compte de cela, les conditions d'humidité du sol sont: I – sec; II- capacité moyenne d'infiltration; III – saturé.

L'évaporation (évapotranspiration potentielle) est l'un des composés fondamentaux du cycle de l'eau et la précision de son estimation est essentielle pour le calcul du bilan hydrique des irrigations et pour la gestion des ressources d'eau et aussi dans l'activité d'aménagement. Sa valeur varie en fonction de la température de l'air et de l'eau, de l'humidité atmosphérique, du régime éolien, des dimensions du lac (superficie, profondeur), du degré de couverture de végétation et du type de végétation, du degré de protection du lac (la hauteur des rives, la position par rapport aux vents dominants), de la salinité de l'eau etc.

Pour l'estimation de l'évaporation en ce qui concerne le complexe lacustre de Ocna Sibiului on a utilisé la méthode Penman; les données climatiques nécessaires (radiation solaire, précipitations, températures, vitesse du vent) sont celles enregistrées à la plus proche station météorologique (Sibiu) pour l'intervalle 1971-2000. Dans ce calcul on a tenu compte tant de l'évaporation au niveau de la surface des lacs que celle du bassin de réception.

## Conclusion

La méthode présentée est largement utilisée dans ce genre d'applications au niveau mondial et elle est indiquée spécialement pour modeler les bassins hydrographiques petits et moyens (ayant une superficie d'environ 50 – 100 km<sup>2</sup>).

L'utilisation du modèle SCS-CN permet l'élaboration des cartes concernant la répartition des volumes d'eau écoulés dans des différents secteurs de la surface analysée. On peut représenter tant les valeurs de l'écoulement annuel que celles des saisons ou mensuelles.

## Bibliographie

GÂȘTESCU P., 1998: *Limnologie și oceanografie*, Editura H.G.A., București.

HAIDU I., CHONG-YU XU, 1998-1999: *Modelarea bilanțului hidric al bazinului hidrografic la scară lunară*, Studii și cercetări de geografie, Tomul XLV-XLVI, București.

LUIJTEN J. C., JONES J. W., KNAPP E. B., 2000: *Spatial Water Budget Model and GIS Hydrological Tools*, ICASA.

UJVÁRI I., GÂȘTESCU P., 1958: *Evaporația apei de la suprafața lacurilor din R.P.R.*, Meteorologia, hidrologia și gospodărirea apelor, nr. 1, București.



## **THEME 3**

# **VARIATION DU CLIMAT ET TOPOCLIMATOLOGIE**



## INFLUENCE DES TOPOCLIMATS SUR L'ORGANISATION DE L'ESPACE DANS LE NORD-OUEST DU PARANA-BRESIL

M.M.DOS PASSOS(\*), V.DUBREUIL(\*\*), R. BARIOU(\*\*), J.L.N. SANT'ANNA(\*)

(\*) FCT – UNESP – Presidente Prudente. Rua Roberto Simonsen, 305. CEP 19060-900. Presidente Prudente SP. Brésil. [passos@stetnet.com.br](mailto:passos@stetnet.com.br)

(\*\*) COSTEL, UMR 6554 CNRS LETG, Université Rennes 2, [vincent.dubreuil@uhb.fr](mailto:vincent.dubreuil@uhb.fr)

### Resumé

Dans l'Etat du Parana au Brésil, le climat est un climat de transition entre le monde tropical et le monde subtropical. Bien que les pluies et températures moyennes sont très supportables pour l'agriculture et de nombreuses espèces végétales, les interruptions momentanées de la période pluvieuse et les gelées d'hiver peuvent causer des dommages très sérieux à la végétation. Pour évaluer les conditions climatiques locales nous avons utilisé pour ce travail les observations des dégâts causés par les gelées sur les plants de café en l'an 2000.

**Mots-clés:** climat local, biogéographie, Parana, Brésil

### Abstract

In the state of Parana, Brazil, the climate is a transition between tropical and subtropical conditions. Although rainfall and temperatures means appeared to be suitable for many plants and agriculture, breaks during the rainy season and frosts during winter may be dramatic for vegetation. In order to evaluate the local climatic conditions we used for this work observations of damages caused by frosts in coffee-plants during year 2000.

**Key-words:** local climate, biogeography, Parana, Brazil

### Introduction

Le climat joue un rôle important dans l'organisation de l'espace à l'échelle locale. Cependant, le nombre réduit de postes de mesures limite les études à ces échelles fines. Le géographe peut alors s'appuyer sur les relevés biogéographiques, la végétation (naturelle ou cultivée) intégrant et subissant les facteurs climatiques. Notre objectif est de démontrer que l'étude du climat local, notamment du topoclimat, dans le Nord-Ouest du Parana, une des régions agricoles les plus développées du Brésil, reste très empirique mais peut bénéficier des observations phénologiques.

#### 1. Diagnostic bioclimatique: un climat marqué par la transition : tropical-subtropical

Les relations entre le climat régional et les climats locaux peuvent être appréhendées à partir des diagrammes ombrothermiques et un diagnostic bioclimatique peut être réalisé à partir de ces données élémentaires (dos Passos, 1998). Il faut cependant noter que la portion nord-ouest du Parana n'a qu'un nombre réduit de postes et stations climatiques et que la connaissance de climat reste très imparfaite à l'échelle locale.

Du point de vue régional, le tableau des températures se distingue par son caractère mésothermique, avec une moyenne annuelle comprise entre 16 et 20°. Dans cette région

brésilienne extratropicale, aux amplitudes importantes, de l'ordre de 7 à 13°, c'est l'étude des valeurs maximales et minimales des températures qui permet de mieux comprendre la réalité du terrain. Les courbes des valeurs moyennes des maxima et des minima, reflètent l'influence exercée par les réchauffements et les refroidissements qui se produisent dans les courants perturbés des masses intertropicales sous l'influence de l'altitude.

Les réchauffements les plus importants (moyenne des maxima) se produisent dans les zones les plus basses. On note cependant une variation des valeurs liée à la position de ces vallées par rapport aux grands courants chauds. Les valeurs les plus élevées se trouvent ainsi le plus à l'ouest, dans la vallée du Parana, là où les ondes de chaleur dues à l'avancée de l'air tropical continental, en été, sont bien plus fortes que le long du littoral, lequel est plus sous l'influence des masses d'air tropical atlantique. Ainsi, à Maringa, la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud atteint 40,0°C contre 35,5°C à Paranavai; pour la moyenne des températures maximales du mois le plus froid, les valeurs sont respectivement de 10,2°C et 12,4°C. Ces données moyennes, complétées par une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à un mètre et rarement supérieure à 2 mètres expliquent l'attrait du climat pour de nombreuses espèces végétales tropicales et subtropicales, mais aussi pour les cultures ; en fait, la période d'activité végétative est favorable tout au long des 12 mois de l'année.

Malgré les limites de cette analyse, due au fait que l'on utilise les valeurs moyennes, on peut voir que les variations des éléments du climat sont en relation avec les facteurs géographiques locaux. Ainsi, de manière générale, les climats du Plateau du Parana sont sous la double influence de la latitude et de l'altitude. En réalité, les contraintes climatiques sont bien présentes et se manifestent essentiellement sous deux formes:

Du point de vue pluviométrique, si tous les mois sont bien arrosés, la forte insolation, associée à des températures élevées et à la lithologie (terre rouge/argileuse ou gréseuse) provoque un stress hydrique sur les cultures, surtout à l'occasion des *veranicos* (interruption de deux à trois semaines des pluies pendant la saison pluvieuse) de printemps-été.

Du point de vue thermique, si la courbe des températures moyennes mensuelles montre peu de variation, en réalité, les basses températures (gelées) se manifestent de manière concrète sur la végétation et ont notamment un fort impact sur les cultures de café.

## **2. Quelques indications fournies par la végétation sur les variations thermiques**

Deux types d'informations peuvent être fournies par l'observation de la végétation et mises en rapport avec le climat: la répartition des espèces "naturelles" de la région, d'une part et, d'autre part, l'impact des événements climatiques "extrêmes" (les gelées) sur les plantations de café.

A l'échelle de la répartition des associations végétales, on peut dresser le constat suivant:

-A- le palmier *Euterpe edulis* (Içara ou Palmito) avait un niveau d'abondance-dominance plus élevé dans les forêts toujours vertes tropicales et subtropicales; comme il est sensible au froid, il a été remplacé dans les vallées par un autre palmier, l'*Arecastrum romanzoffiana* (Jeriva);

-B- l'*Araucaria angustifolia* (Pin du Parana) avait une possibilité d'occurrence plus forte sur les versants sud des reliefs, dans les vallées profondément disséquées et également dans les vallées ouvertes.

Les plantations de café, bien développées sur les terres fertiles des plateaux du Parana, sont également de bons indicateurs climatiques dans la mesure où l'impact du gel sur les cultures va être plus ou moins marqué en fonction de leur situation topographique. Les photographies 1, 2 et 3 montrent les contrastes topoclimatiques dans le Nord-Ouest du Parana. La photo 3 est

un fond de vallée qui se trouve à environ 700 mètres de la crête où a été prise la photo 1 : dans un cas, les pieds de café ont gelé alors que dans l'autre parcelle ils sont demeurés intacts.



*Photo 1: parcelle de café située sur la crête de la propriété Lopes : à cette altitude, au dessus des fonds de vallées, les effets des gelées ont été très réduits. PASSOS, 13/07/2000.*



*Photo 2: enregistrement de la gelée ayant frappé la propriété Lopes (Commune de Mandaguari Nord-ouest du Paraná. PASSOS, 13/07/2000.*



*Photo 3: En fond de vallée, les gelées ont été plus marquées et ont nécessité la coupe des plants de café à la base du tronc pour assurer la repousse. PASSOS, 13/07/2000.*

Les gelées sont classées selon leur intensité :

-a) *geada de baixada* (gelée des fonds de vallées) : elle se produit dans les fonds de vallée, pratiquement chaque année. Lors des situations hivernales, l'air froid suit les lignes topographiques et glisse vers les vallées qui sont alors davantage exposées aux gelées alors que les régions les plus élevées restent plus chaudes durant la nuit. En général, on ne plante jamais de café dans ces secteurs.

-b) *geada de capote* (gelée des manteaux) : plus sévère, elle provoque la perte partielle des feuilles de la partie supérieure de la plante.

-c) *geada negra* (gelée noire) : elle affecte tout le caféier et pour récupérer la plante il est nécessaire de couper le tronc à environ 30cm au-dessus du sol...c'est de là que sortiront les nouveaux bourgeons.

Tous ces types de gelées se sont manifestés dans le Nord-Ouest du Parana en 2000. Elles furent plus intenses dans et à proximité des vallées, ce qui a nécessité la coupe des troncs, avec une atténuation des effets de ces gelées à mesure que l'on monte le long des versants et un impact négligeable sur les plateaux. Cette relation entre topographie et température de l'air interfère donc de manière importante sur l'organisation de l'espace caféier dans le Nord-Ouest du Parana. Les méthodes à mettre en place pour la récupération des plants après une gelée sont relativement simples : un élagage partiel. Le problème majeur réside dans l'absence de cueillette l'année suivante. De plus le travail s'en trouve accru du fait que toutes les branches élaguées doivent être entassées pour faciliter le sarclage. Le fait nouveau lié aux gelées de l'an 2000 est que, à la différence des années précédentes, peu de gens ont abandonné leurs terres pour émigrer en ville, la crise de l'emploi en ville ayant contribué au retour à la terre.

## Conclusion

La précarité du réseau de stations météorologiques nous oblige à chercher dans les informations calquées sur le paysage (occurrence d'espèces végétales déterminées; utilisation actuelle du sol; effets immédiats de l'occurrence des gelées) les indicateurs du rôle du topoclimat dans l'organisation de l'espace du Nord-Ouest du Parana. Malgré le caractère empirique de ces informations, elles se sont révélées importantes pour la définition du dessin paysager actuel sur lequel s'appuient les producteurs pour définir les types de cultures les plus appropriées aux conditions locales du climat, notamment du topoclimat.

## Bibliographie

- PASSOS, M. M. dos - *Biogeografia e Paisagem*. Presidente Prudente: UNESP, 1998;  
PASSOS, M. M. dos - *Por uma eco-história da raia divisória São Paulo – Paraná – Mato Grosso do Sul*. Maringá: Eduem (prelo), 2005.

## **DIMINUTION SIGNIFICATIVE DES PRECIPITATIONS EN GRECE ET MODIFICATIONS DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE: LE CAS DE JANVIER DE 1951 A 2000**

**C. NORRANT et A. DOUGUEDROIT**

*Institut de Géographie, Université Aix-Marseille I, 29 av. R. Schuman  
13621 Aix-en-Provence. France. Tél. +33 4 42 95 38 53. Fax: +33 4 42 95 38 80  
[caroline.norrant@up.univ-aix.fr](mailto:caroline.norrant@up.univ-aix.fr) [annick.douguedroit@up.univ-aix.fr](mailto:annick.douguedroit@up.univ-aix.fr)*

### **Résumé**

Nous analysons les précipitations en Grèce pendant les mois de janvier de 1951 à 2000. Les totaux mensuels de pluie diminuent significativement, en lien avec le nombre de jours de fortes pluies. Cette diminution significative des pluies s'explique par une modification de la circulation atmosphérique, dont les types de circulation pluvio-gènes sont plus fréquents avant le milieu des années 1970.

**Mots-clefs:** Précipitations mensuelles; Indices pluviométriques; Tendances linéaires; Niveau du géopotential 500hPa; Analyse des Corrélations Canoniques; Types de circulation; Grèce.

### **Abstract**

Greek rainfall are studied during January from 1951 to 2000. Monthly rainfall amounts significantly decrease, related to the number of rainy days. This rainfall significant decrease is explained by a modification of the atmospheric circulation: pluviometric circulation types are more numerous before the mid-1970's.

**Key-words:** Monthly rainfall; Pluviometric indices; Linear trends; 500hPa geopotential height; Canonical Correlation Analysis; Circulation types; Greece.

### **Introduction**

Dans la perspective actuelle de changement climatique, les scénarios de sortie des modèles s'accordent sur une diminution de la pluviométrie dans le Bassin méditerranéen pour ce siècle (IPCC, 2001). Cependant les précipitations sont fortement influencées par les dynamiques de circulation. Afin d'appréhender ce type de relations, nous nous proposons d'étudier simultanément les précipitations de Grèce et la circulation au niveau du géopotential 500hPa pendant les mois de janvier de 1951 à 2000. Nous nous proposons d'étudier les tendances linéaires des totaux mensuels de pluie ainsi que de différents indices pluviométriques déterminés à partir de données quotidiennes en Grèce, déterminée comme une région à part par Analyse en Composantes Principales avec Rotation (ACPR), pendant les mois de janvier de 1951 à 2000 (Norrant et Douguedroit, 2004a). Ensuite nous cherchons à diagnostiquer les relations entre les tendances significatives des précipitations et la circulation au niveau du géopotential 500hPa.

### **1. Données et méthodes**

#### 1.1. Données

Nous avons utilisé les totaux mensuels et quotidiens de 10 stations de Grèce fournies par P. MAHERAS et le ECA&D (Pays-Bas) pour les mois de janvier allant de 1951 à 2000. Toutes les stations de pluie ont été testées comme homogènes.

Nous avons appréhendé les pressions au niveau moyen mensuel du géopotential 500hPa en 138 points de grille, selon une fenêtre atlantico européenne de 20°N-70°N sur 60°W-60°E, avec une maille en losange de 5°x5° permettant de réduire la taille des fichiers, et donc

d'alléger les temps de calcul, sans pour autant perdre de l'information. Les données de niveau de géopotential 500hPa proviennent des réanalyses du NCEP/NCAR (USA), qui sont considérées comme fiables.

### 1.2. Méthodes

En plus des totaux mensuels de pluie, nous avons retenu divers indices déterminés à partir des précipitations quotidiennes: totaux des pluies  $\geq 10\text{mm}$  et  $\geq 95^{\text{ème}}$  centile, nombre mensuel de jours de pluie  $\geq 0,1\text{mm}$  et  $\geq 10\text{mm}$  et moyenne mensuelle des pluies quotidiennes  $\geq 0,1\text{mm}$  et  $\geq 10\text{mm}$ . Sur chacun de ces indices ont été calculées des tendances linéaires, testées au niveau 0,05 par le test non paramétrique sur les rangs de Kendall (Sneyers, 1990).

Ensuite nous avons utilisé une Analyse Canonique des Corrélations qui permet de mettre en relation deux types de variables, ici les totaux mensuels de pluie et le niveau du géopotential 500hPa. Des paires de configurations spatiales (racines) sont dérivées des deux types de variables de telle sorte que la corrélation de leurs séries chronologiques soit maximale. Chaque paire de configurations couplées représente la part de variance dans les deux groupes de variables qui sont significativement corrélées (Von Storch et Zwiers, 1998). Avant de procéder à une Analyse des Corrélations Canoniques, il faut simplifier les deux jeux de variables en appliquant à chacun une Analyse en Composantes Principales (sans rotation). Nous avons retenu 10 facteurs pour les géopotentials 500hPa (92% de variance expliquée) et 10 facteurs pour les précipitations (74,3%), sachant que pour chaque variable nous ne pourrions pas expliquer plus que la variance retenue dans cette analyse préalable.

## **2. Tendances des précipitations de janvier en Grèce**

Les totaux mensuels de pluie en Grèce diminuent significativement pendant le mois de janvier entre 1951 et 2000. Parmi les autres indices pluviométriques retenus (nombre mensuel de jours de pluie  $\geq 0,1\text{mm}$  et  $\geq 10\text{mm}$ , moyenne mensuelle des pluies quotidiennes  $\geq 0,1\text{mm}$  et  $\geq 10\text{mm}$ , totaux des pluies  $\geq 10\text{mm}$  et  $\geq 95^{\text{ème}}$  centile), tous diminuent significativement pendant la période d'étude, à l'exception des totaux de pluie  $\geq 95^{\text{ème}}$  centile qui eux montrent une augmentation significative. Cela va dans le sens des scénarios des modèles régionaux récents pour la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle en Méditerranée (Räisänen et al., 2004) et recoupe les résultats d'études antérieures (Maheras et Anagnostopoulou, 2003 ; Douguédroit et Norrant, 2003 ; Norrant et Douguédroit, 2005).

La mise en relation par corrélation simple des totaux mensuels de pluie et des différents indices montre que c'est le nombre de jours de fortes pluies qui explique le mieux (environ 80%) la diminution des totaux. Cette relation avec le nombre de jours de pluie implique une modification de la circulation atmosphérique (Norrant, 2004).

### 2.1. Relations entre les précipitations grecques et la circulation atmosphérique au niveau 500hPa

C'est pourquoi nous avons tenté de diagnostiquer les relations entre les totaux de pluie et le niveau du géopotential 500hPa. Nous avons procédé par une Analyse des Corrélations Canoniques (ACC) (Norrant et Douguédroit, 2004b). Dans le premier groupe de variables sont représentées les stations de pluie, dans le second groupe les points de grille du niveau du géopotential 500hPa; les mois de janvier de 1951 à 2000 se trouvent en observations.

### 2.2. Configurations d'anomalies de pression en relation avec les précipitations

Nous remarquons que quatre configurations d'anomalies de pressions sont principalement impliquées dans les précipitations grecques de janvier: Méditerranée (qui explique 16,3% des

précipitations grecques), Est Atlantique / Ouest Russie (14,9% des pluies), Sahara occidental / Sahara oriental (10,4% des pluies) et Est Atlantique (6,1% des pluies). Au total ces quatre configurations expliquent 47,8% de la variance totale des précipitations grecques.

Seules les racines associées aux configurations Méditerranée et Est Atlantique / Ouest Russie montrent des tendances significatives des précipitations et du niveau du géopotential 500hPa. C'est pourquoi nous n'analyserons que les cas de maximum et de minimum de pluie de ces deux racines.

### 2.3. Modifications de la circulation atmosphérique

Ces configurations sont à l'origine de deux types de circulation qui vont donner des pluies en Grèce (Douguédroit et Norrant, 2005). La configuration Méditerranée va être associée dans le mois de janvier de maximum de pluie (1981) une circulation méridienne, à l'origine d'une cyclogenèse méditerranéenne (Fig.1a). La situation de minimum de pluie en Grèce associée à cette racine est celle de janvier 1997, où la circulation méridienne est remplacée par une circulation d'ouest entraînant avec elle des perturbations atlantiques probablement régénérées sur la Méditerranée; on remarque qu'une partie du flux arrivant sur la Grèce vient de nord-ouest, avec peut-être quelques régénérations sur l'Adriatique (Fig.1b).

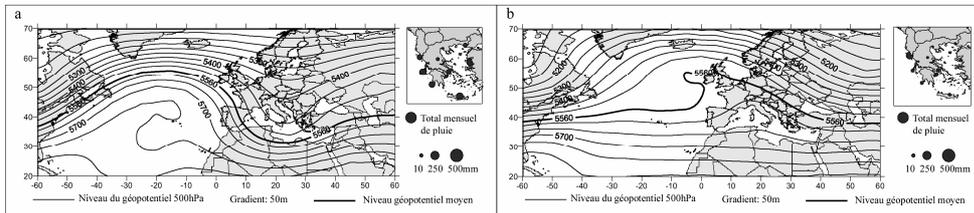


Fig.1: Racine 2, situations a) de maximum de pluie: janvier 1981, b) de minimum de pluie: janvier 1997.

La configuration Est Atlantique / Ouest Russie de maximum de pluie (janvier 1996) est associée à une circulation zonale, qui apporte sur le pays des perturbations atlantiques régénérées sur la Méditerranée (Fig.2a). La situation de minimum de pluie (janvier 1983) est une descente de nord-ouest du flux sur la Grèce, avec quelques régénérations sur l'Adriatique (Fig.2b).

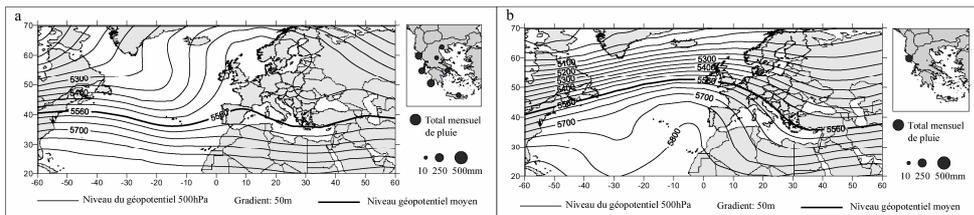


Fig.2: Racine 1, situations a) de maximum de pluie: janvier 1996, b) de minimum de pluie: janvier 1983.

Ces deux types de circulation sont plus actifs avant le milieu des années 1970, ce qui expliquerait la diminution significative constatée dans les précipitations de Grèce au mois de janvier entre 1951 et 2000.

## Conclusion

Entre les mois de janvier 1951 et 2000 en Grèce, les précipitations ont diminué significativement. Cette diminution des pluies s'explique par une modification de la circulation atmosphérique: une circulation pluvieuse méridienne est remplacée par une circulation zonale qui apporte moins de pluie; une circulation pluvieuse zonale est remplacée par une descente de nord-ouest de l'air et une remontée des pressions. Les types de circulation pluvieuses sont beaucoup plus fréquents avant le milieu des années 1970, contrairement aux types de circulation de minimum de pluie qui deviennent plus fréquents par la suite, expliquant la diminution des pluies.

## Bibliographie

- DOUGUEDROIT A., NORRANT C., 2003: "Annual and seasonal century-scale trends of the precipitation in the Mediterranean area during the twentieth century" in *Mediterranean Climate. Variability and trends*. p.159-163, H.-J. Bölle ed., Springer.
- DOUGUEDROIT A., NORRANT C., 2005: Modifications significatives de la circulation atmosphérique pluvieuse dans le Bassin méditerranéen (1950-2000), *Actes du 18<sup>ème</sup> Colloque de l'AIC, même volume*.
- IPCC, 2001: Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK.
- MAHERAS P, ANAGNOSTOPOULOU C, 2003: "Circulation types and their influence on the interannual variability and precipitation changes in Greece" in *Mediterranean Climate. Variability and trends*. H.-J. Bölle ed., Springer, 215-239.
- NORRANT C., 2004: *Tendances pluviométriques indicatrices d'un changement climatique dans le Bassin méditerranéen de 1950 à 2000. Etude diagnostique*. Thèse soutenue à l'Université Aix-Marseille I, 261p. + annexes.
- NORRANT C., DOUGUEDROIT A., 2004a: Tendances des précipitations mensuelles et quotidiennes dans le sud-est méditerranéen français (1950-51 / 1999-2000), *Annales de l'AIC*, 1: 45-63.
- NORRANT C., DOUGUEDROIT A., 2004b: Relations entre précipitations et géopotentiels 500hPa dans le Bassin méditerranéen (1951-2000): étude comparée des résultats de deux techniques, *Actes du XVII<sup>ème</sup> colloque de l'AIC*, Caen, 8-10 septembre 2004, 67-70.
- NORRANT C., DOUGUEDROIT A., 2005: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000), *Theoretical and Applied Climatology*, sous presse.
- RÄISÄNEN J et co-auteurs, 2004: European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics* 22: 13-31.
- SNEYERS R, 1990: On the statistical analysis of series of observation. WMO, Technical Note n° 143, Genève.
- VON STORCH H., ZWIERS F.W., 1998: *Statistical analysis in climate research*, Cambridge University Press, UK.

## **MODIFICATIONS SIGNIFICATIVES DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE PLUVIOGENE DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN (1950 – 2000)**

**A. DOUGUEDROIT et C. NORRANT**

*Institut de Géographie, UMR ESPACE, Université Aix-Marseille I, 29 av. R. Schuman,  
13621 Aix-en-Provence. France. Tél. +33 4 42 95 38 53. Fax: +33 4 42 95 38 80  
[amick.douguedroit@up.univ-aix.fr](mailto:amick.douguedroit@up.univ-aix.fr) et [caroline.norrant@up.univ-aix.fr](mailto:caroline.norrant@up.univ-aix.fr)*

### **Résumé**

Des modifications significatives de la circulation atmosphérique, des totaux et de la moyenne quotidienne des précipitations régionales mensuelles et saisonnières sont apparues dans la région méditerranéenne entre 1950 à 2000. Des types de circulation très pluvio-gènes du début de la période ont été remplacés à la fin par d'autres qui le sont beaucoup moins.

**Mots-clefs:** Variations significatives des types de circulation, Géopotential 500 hPa, Précipitations, Bassin méditerranéen, Analyse des Corrélations Canoniques.

### **Abstract**

Significant modifications of the atmospheric and of monthly and seasonal totals and daily means of rainfall have been determined in the Mediterranean area between 1950 and 2000. Circulation types which cause heavy precipitation in the beginning of the period have been replaced by low rainfall ones at the end.

**Key-words:** Significant variations of circulation types, 500 hPa geopotential height, Precipitation; Mediterranean Basin, Canonical Correlation Analysis.

### **Introduction**

Il existe un certain accord entre les différents modèles de circulation générale sur des perspectives de diminution des pluies à la fin du XXIème siècle dans le Bassin méditerranéen (IPCC, 2001). D'où l'intérêt de se demander si de tels scénarios auraient déjà démarré dans la seconde moitié du XXème siècle. Des études antérieures ont établi que les précipitations régionales ont significativement diminué certains mois et saisons dans certaines régions du Bassin (Maheras et Anagnostopoulou, 2003, Norrant, 2004, Norrant et Douguédroit, 2004, 2005a, Trigo et Da Camara, 2000). Nous allons montrer que cette diminution fortement corrélée à celle des moyennes quotidiennes des pluies (Norrant, 2004) est liée à une modification des types de circulation pluvio-gènes dans l'ensemble du Bassin et pas seulement en Grèce (Norrant et Douguédroit, 2005b).

### **1. Données et méthodes**

Les niveaux moyens mensuels du géopotential proviennent des réanalyses du NCEP/NCAR (USA), qui sont considérées comme fiables (type A). Elles ont été utilisées dans une fenêtre atlantico-européenne de 20°N-70°N lat et 60°W-60°E long, soit 138 points de grille répartis en losanges de 5°x5°.

Les cas retenus (Espagne méditerranéenne en octobre, Grèce en janvier et hiver, Moyen-Orient en hiver et Littoral atlantique en mars) représentent les régions dont les totaux et les moyennes journalières de pluie mensuelles et saisonnières ont simultanément diminué de façon significative entre 1950 et 2000 (Maheras et Anagnostopoulou, 2003, Norrant, 2004, Norrant et Douguédroit, 2005a, Trigo et Da Camara, 2000). Ensuite des analyses simultanées

des précipitations et du géopotential 500 hPa par des Analyses Canoniques des Corrélations ou ACC (Von Storch et Zwiers, 1998) ont permis de déterminer les configurations d'anomalies de circulation atmosphérique associées aux précipitations régionales (Norrant, 2004). Parmi les 2 à 4 configurations ainsi obtenues dans chaque cas, seules celles (une ou deux selon les cas et toujours représentant les plus fortes variances expliquées des pluies) dont les scores varient significativement, selon le test de Kendall (Sneyers, 1990), entre 1950 et 2000 ont été reprises ici car ce sont elles qui entraînent la diminution significative des pluies.

## 2. Les configurations dont les scores évoluent significativement entre 1950 et 2000

Dans tous les cas, les scores des configurations associées à des tendances des pluies mensuelles ou saisonnières en diminution significative présentent des tendances en augmentation. Ces configurations, au nombre de quatre (Tab 1), sont toujours des bipoles (Fig.1). La variance expliquée des pluies par chaque configuration varie d'un cas à l'autre, 40% dans le cas de la NAO et entre 15 et 20% dans les autres cas.

| Configuration         | Région              | Mois, Saison | Tau de Kendall |
|-----------------------|---------------------|--------------|----------------|
| NAO                   | Littoral atlantique | mars         | 2.92           |
| Est Atl- Est Mediter. | Espagne méditer.    | octobre      | 3.30           |
|                       | Grèce               | hiver        | 3.30           |
| W Atl- Plaine russe   | Grèce               | janvier      | 2.57           |
|                       | Littoral atlantique | mars         | 2.82           |
| W Atl- Sahara         | Grèce               | hiver        | 2.82           |
|                       | Moyen-Orient        | hiver        | 2.62           |

Tableau 1 : Liste des configurations dont les scores évoluent significativement ( en augmentation) entre 1950 et 2000.

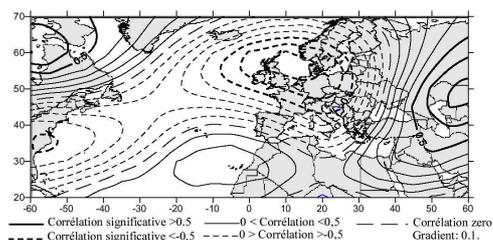


Fig.1 : Exemple de bipole ( Est atlantique-Plaine russe : Moyen-Orient, hiver, racine 4).

La diminution significative des pluies est, sans doute alors, renforcée par celle du nombre de jours pluvieux, non étudiée ici. Toutes les tendances linéaires des scores de configurations masquent, dans les années 70, des ruptures testées par le test de Mann-Kendall (Sneyers,1990).

## 3. Les types de circulation associés

Les très fortes corrélations entre les scores des géopotentiels 500 hPa et des pluies de la même racine dans toutes les ACC permettent de sélectionner les deux types de circulation représentant les deux cas extrêmes de réalisation de la configuration, correspondant aux mois le plus pluvieux d'une part et le moins pluvieux de l'autre, et d'interpréter les effets de la configuration sur les pluies. Les différences entre deux extrêmes d'une même configuration sont toujours associées à des variations du jet-stream, à un changement soit de sa latitude, soit

de l'allure de sa trajectoire. Le long du littoral atlantique, en mars, le maximum de pluie correspond à une circulation zonale des perturbations à la latitude de la Péninsule ibérique alors que le minimum se produit lorsque les hautes pressions de l'anticyclone des Açores recouvrent la région et rejettent vers le nord le passage des perturbations (Fig.2).

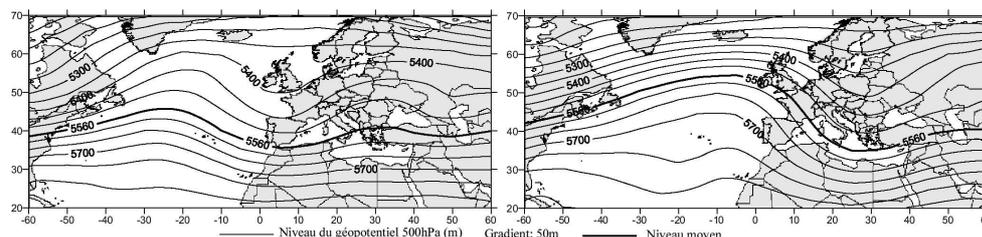


Fig.2 : Péninsule ibérique en mars : des perturbations pluvieuses (à gauche) aux hautes pressions (à droite). Racine 1, en mars.

Dans le Bassin méditerranéen même, on assiste à des emboîtements d'échelles spatiales dans les diverses influences subies par la circulation atmosphérique. En effet la mer Méditerranée provoque sur la circulation d'échelle d'ordre domaniaal, ici atlantico-européenne, des modifications liées à la répartition des terres et des mers et du relief, en particulier le long de la rive septentrionale. On retrouve ici les traits de la cyclogénèse dans la région.

En circulation zonale d'ouest les péninsules présentent une dissymétrie d'humidité entre l'ouest sous le vent et bien arrosé et l'est, en position d'abri, beaucoup moins pluvieux. En présence d'une onde de Rossby, on retrouve aussi à peu de distance une opposition entre les régions soit peu arrosées au niveau du flanc occidental soit recevant de fortes pluies à l'est. Les circulations provoquant celles-ci correspondent soit à la présence d'un flanc oriental d'une ondulation du jet-stream soit à une circulation zonale avec régénération des perturbations sur la mer pour les parties occidentales des péninsules. Celles associées à de faibles précipitations dépendent soit d'une position en abri avec une circulation zonale, soit d'une localisation sous le flanc occidental d'une ondulation du jet-stream. Toutes ces possibilités ne se présentent pas ici (Tab 2).

On voit d'après le tableau 2 que seulement trois cas sont effectivement représentés : le

| Configuration         | Région              | Mois, Saison | Max pluie | Min pluie |
|-----------------------|---------------------|--------------|-----------|-----------|
| Est Atl- Est Mediter. | Espagne méditer.    | octobre      | M - E     | Z - a     |
|                       | Grèce               | hiver        | Z - w     | M - W     |
|                       | Grèce,              | janvier      | Z - w     | M - W     |
| W Atl- Plaine russe   | Littoral atlantique | mars         | Z - w     | M - W     |
| W Atl- Sahara         | Grèce               | hiver        | Z - w     | M - W     |
|                       | Moyen-Orient        | hiver        | M - E     | M - W     |

Tableau 2 : Types de circulation de fortes (Max) et de faibles (Min) pluies correspondant aux différentes configurations. Circulation zonale (Z), avec effet au vent (w) et d'abri (a) ou méridienne (M), à l'est (E) et à l'ouest (W) d'une ondulation du jet.

passage d'une ondulation à une circulation zonale avec effet d'abri (Espagne méditerranéenne), d'une circulation zonale à une ondulation avec localisation à l'ouest de celle-ci et le glissement à l'ouest d'une ondulation du jet (Fig. 3). Tous impliquent un changement de localisation en longitude de l'axe de l'ondulation concernée. Pour chaque configuration la fréquence des types de circulation les plus pluvio-gènes est élevée au début de la période 1950-2000 alors que les autres le sont à la fin.

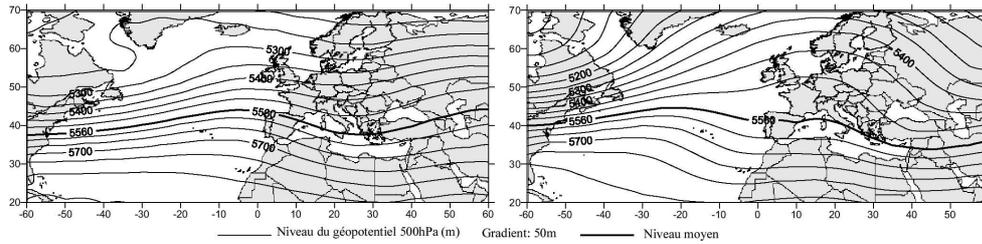


Fig.3 : Moyen-Orient, partie asiatique, en hiver (racine 4): passage d'une position sous l'ouest à une autre sous l'est d'une ondulation de jet.

## Conclusion

Des modifications significatives dans la fréquence des types de circulation associés à une diminution significative des précipitations mensuelles et saisonnières de certaines régions du Bassin méditerranéen (Espagne méditerranéenne en octobre, Grèce en janvier et hiver, Moyen-Orient en hiver et littoral atlantique en mars) sont apparues entre 1950 et 2000. L'étude des scores du niveau 500 hPa des racines des ACC correspondant avec les mois et saisons présentant une diminution significative des totaux et des moyennes quotidiennes de pluie a montré que les types de circulation les plus pluvio-gènes sont beaucoup plus fréquents avant le milieu des années 1970, contrairement aux types de circulation à l'origine de faibles pluies qui se produisent plus souvent par la suite.

## Bibliographie

- IPCC, 2001: Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK.
- MAHERAS P, ANAGNOSTOPOULOU C, 2003: "Circulation types and their influence on the interannual variability and precipitation changes in Greece" in Mediterranean Climate. Variability and trends. H.-J. Bölle ed., Springer, 215-239.
- NORRANT C., 2004: Tendances pluviométriques indicatrices d'un changement climatique dans le Bassin méditerranéen de 1950 à 2000. Etude diagnostique. Thèse soutenue à l'Université Aix-Marseille I, 261p. + annexes.
- NORRANT C., DOUGUEDROIT A., 2004: Tendances des précipitations mensuelles et quotidiennes dans le sud-est méditerranéen français (1950-51 / 1999-2000), Annales de l'AIC, 1: 45-63.
- NORRANT C., DOUGUÉDROIT A., 2005a: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000), Theoretical and Applied Climatology, sous presse.
- NORRANT C., DOUGUEDROIT A., 2005b: Diminution significative des précipitations en Grèce et modifications de la circulation atmosphérique. Le cas de janvier de 1951 à 2000, Actes du 18<sup>ème</sup> colloque de l'AIC
- SNEYERS R, 1990: On the statistical analysis of series of observation. WMO, Technical Note n° 143, Geneve.
- TRIGO R M. et DA CAMARA C. C., 2000: Circulation weather types ; their influence on the precipitation regime in Portugal, International Journal of Climatology, 20, 1559-1581.
- VON STORCH H., ZWIERS F.W., 1998: Statistical analysis in climate research, Cambridge University Press, UK.

# CARACTÉRISATION DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE EN DOMAINE TEMPÉRÉ SEMI-OCÉANIQUE : UN PASSÉ RÉCENT (1954-2003) POUR QUEL AVENIR ?

G. DROGUE<sup>1</sup>, L. WAHL<sup>2</sup>, L. HOFFMANN<sup>1</sup>, L. PFISTER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CREBS, Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, 41, rue du Brill, L-4422 Belvaux, Grand-Duché de Luxembourg - [drogue@lippmann.lu](mailto:drogue@lippmann.lu)

<sup>2</sup>Université de Nancy II, Département de géographie, 3 place Godefroi de Bouillon, 54025 Nancy, France

## Résumé

L'objectif de cette étude est de documenter en un premier temps l'évolution saisonnière des températures extrêmes au cours de la dernière période demi-séculaire dans la Grande Région (Rhénanie-Palatinat, Sarre, Lorraine, Grand-Duché de Luxembourg, Wallonie) et le rebord sud-occidental du Fossé Rhénan. Dans un second temps, les distributions fréquentielles des températures extrêmes de la normale climatique 1971-2000 sont comparées à celles issues des sorties de modèles emboîtés de l'expérimentation européenne PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) forcés à l'aide du scénario d'émission A2 du GIEC (Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) à l'horizon 2071-2100.

**Mots-clés** : Réchauffement climatique, températures extrêmes, scénarios climatiques, climat océanique dégradé, Grande Région, Fossé Rhénan.

Eliminato: semi-

## Abstract

This paper aims at studying in a first step the seasonal trends affecting extreme air temperatures in the Grande Region (Rheinland-Pfalz, Saarland, Lorraine, Grand-Duchy of Luxembourg, Wallonia) and the south of the Rhine Graben areas during the last five decades. The second step is dedicated to the comparison between frequency distributions of extreme air temperatures of the last climate normal (1971-2000) to those provided by the EU PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) climate modelling experiment, forced with the IPCC SRES A2 emission scenario for the end of the XXI century.

**Key-words** : Recent warming, extreme air temperatures, climate scenarios, semi-oceanic climate, Grande Region, Rhine Graben.

## Introduction

Notre environnement est sujet à une variabilité climatique s'exprimant à des échelles variables de temps et d'espace. Ainsi, si depuis 1860, l'amplitude du réchauffement climatique planétaire est estimée proche de  $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  pour un intervalle de confiance de 99 % selon le troisième rapport d'avancement du GIEC (IPCC, 2001), il n'en reste pas moins que des phases froides et chaudes se sont succédées à l'échelle planétaire depuis lors, et que des nuances régionales, inféodées aux facteurs géographiques comme la topographie ou l'urbanisation, sont également susceptibles de moduler les changements de régime thermique intervenus depuis quelques décennies. Inspiré en partie par les travaux de L. Wahl (2003), l'objectif assigné à nos travaux est de détecter le plus objectivement possible le signal du changement climatique sur les températures extrêmes de 1954 à 2003 dans la Grande Région et le Fossé Rhénan, puis de comparer les régimes thermiques présents et futurs en tenant compte de l'effet de serre additionnel induit par les émissions de gaz à effet de serre anthropogénique.

## 1. Base de données

A l'issue d'un inventaire des données disponibles auprès des différents services météorologiques nationaux, plus d'une vingtaine de séries de températures extrêmes (températures minimales (Tn) et maximales (Tx)) documentant la période 1954-2003 ont été sélectionnées (Figure 1) et soumises à une procédure d'homogénéisation. Celle-ci s'est déroulée en deux étapes : i) l'application de la règle de décision bayésienne de détection de ruptures multiples et de points aberrants dans une version pas-à-pas de Caussinus et Mestre (2004) à un lot restreint de séries chronologiques ayant fait l'objet d'une étude préliminaire (Drogue et al., 2005), ii) l'application du test d'Alexandersson (1986) aux séries chronologiques restantes en procédant de proche en proche à partir des séries chronologiques homogénéisées selon l'algorithme de Caussinus-Mestre.

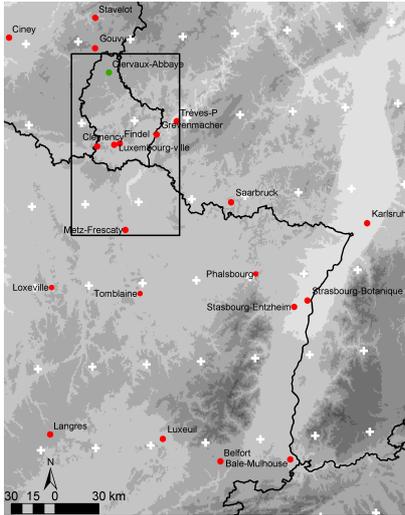


Figure 1. Orographie et réseau de mesure climatologique. Points rouges : séries de températures initialement disponibles. La zone incluse dans le cartouche noir, appelé « sous-région du Luxembourg » dans la suite du texte, englobe les stations utilisées pour la comparaison des régimes thermiques présents et futurs. Les réticules blancs correspondent aux points de la grille CRU (Climate Research Unit) pour lesquels les sorties de modèles emboîtés PRUDENCE sont disponibles.

A l'issue de la procédure de contrôle des séries de températures extrêmes, compte tenu de multiples ruptures d'homogénéité identifiées sur certaines séries temporelles, seules 16 séries homogènes mensuelles correspondant, majoritairement, à des stations automatiques synoptiques situées entre 114 m (Karlsruhe) et 467 m (Langres) ont été conservées.

## 2. Tendances saisonnières

Celles-ci ont été déterminées en ajustant, au sens des moindres carrées, une droite de régression aux séries temporelles et en multipliant la pente de la droite obtenue par le nombre d'années de la période 1954-2003. La saison estivale et la saison automnale sont respectivement la saison la plus affectée et la saison la moins affectée par le réchauffement climatique (Figure 2). Le signal du réchauffement climatique est amplifié dans les grandes agglomérations (Nancy, Metz, Strasbourg). En hiver, l'élévation des Tx est plus prononcée sur le plateau lorrain que dans le sud du Fossé Rhénan. L'amplitude thermique diurne est stationnaire en hiver (parité des tendances (+) et (-)), augmente majoritairement au printemps et en été (0.2 et 1.3°C en moyenne régionale respectivement) et diminue faiblement (-0.4°C en moyenne régionale) à l'automne. Les tendances significatives selon le test de Mann-Kendall au seuil de significativité de 5 % concernent les Tn du printemps et de l'été pour toutes les stations de mesure, les Tx hivernales pour une partie du réseau seulement, les Tx printanières et estivales pour l'ensemble du réseau de mesure.

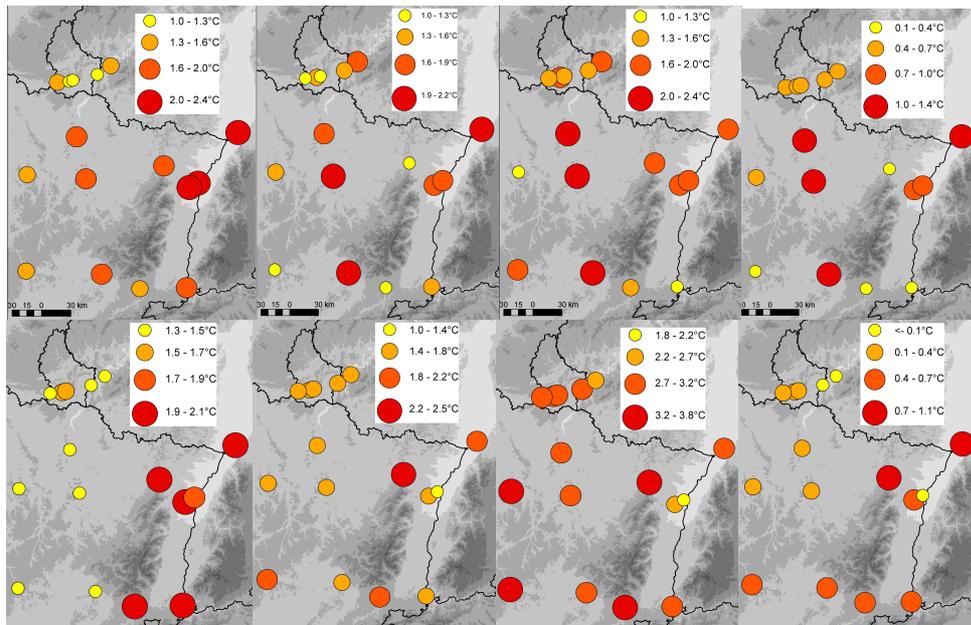


Figure 2. Amplitude des variations saisonnières de Tn (ligne supérieure) et de Tx (ligne inférieure) sur la période 1954-2003. De gauche à droite : trimestres DJF, MAM, JJA, SON.

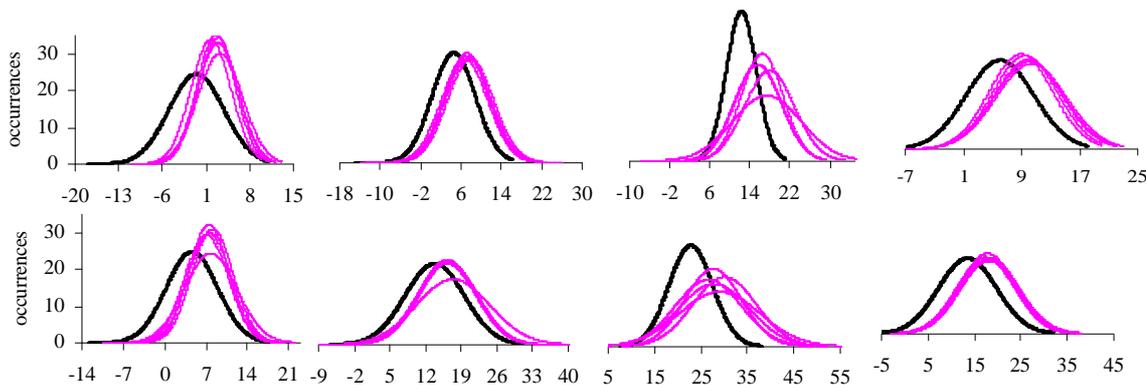


Figure 3. Distributions gaussiennes saisonnières des températures extrêmes (Tn, ligne supérieure – Tx, ligne inférieure) à l'horizon 2071-2100 selon 5 modèles climatiques régionaux (courbes roses). Distribution observée (1971-2000) en noir. De gauche à droite : trimestres DJF, MAM, JJA, SON.

### 3. Scénarios de réchauffement climatique

Les données de température relatives aux conditions climatiques futures sont issues du projet européen PRUDENCE, donnant les runs d'un panel de 11 modèles climatiques régionaux emboîtés dans HadAM3H (modèle atmosphérique global du Hadley Centre) pour le scénario d'émission SRES A2 (850 ppm de CO<sub>2</sub>, fin du siècle) sur la période 2071-2100. Les variations de moyenne et d'écart-type simulées par 5 modèles climatiques régionaux ont été extraites pour les points de la grille CRU inclus dans ou voisins du rectangle noir de la Figure 1 et appliquées aux séries quotidiennes de Tx et Tn (1971-2000) moyennées pour les stations de mesure incluses dans le même rectangle selon la formule de Buishand et Lenderink (2004).

## **Conclusion**

Régionaliser l'amplitude du réchauffement climatique contemporain n'est pas une question triviale : il convient de s'assurer préalablement de l'homogénéité des séries temporelles en recourant simultanément aux métadonnées stationnelles et à un formalisme statistique rigoureux. La variabilité du système climatique et les propriétés du substratum géographique se combinent pour définir les modalités régionales de l'évolution des températures extrêmes. La scénarisation climatique inférée des données PRUDENCE montre que le réchauffement climatique anthropogénique pourrait se traduire par un changement de régime thermique saisonnier considérable d'ici la fin du siècle.

## **Remerciements**

Source des données : climathèque de Météo-France, Service Météorologique de l'Aéroport et Administration des Services Techniques de l'Agriculture du Luxembourg, Deutscher Wetterdienst. Scénarios PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>) gracieusement mis à notre disposition par J.H. et O. Christensen du Danish Meteorological Institute. Les auteurs tiennent également à remercier Olivier Mestre pour sa collaboration.

## **Bibliographie**

- ALEXANDERSSON H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661-675.
- BUIHAND T.A., LENDERINK G., 2004. Estimation of future discharges of the River Rhine in the Swurve project. Technical report, KNMI, De Bilt, 39 p.
- CAUSSINUS H., MESTRE O., 2004. Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Journal of the Royal Statistical Society Series C*, 53, 405-425.
- DROGUE G., MESTRE O., HOFFMANN L., PFISTER L., 2005. Recent warming in a small region with semi-oceanic climate, 1949-1998: what is the ground truth? *Theoretical and Applied Climatology*, sous presse.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2001. *Climate change 2001. The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1000 p.
- WAHL L., 2003. Analyse du réchauffement climatique contemporain et des types de temps observés dans le Nord-Est de la France et le Sud-Ouest de l'Allemagne de 1981 à 2000. Publication de l'AIC, 15, 441-448.

## MEMOIRES DU TEMPS EN VIC-BILH (SUD-OUEST DE LA FRANCE) PAYSANS ET ALEAS CLIMATIQUES – 1960-2005

F. AVILA

40800 Aire-sur-l'Adour – fernand2\_avila@yahoo.fr  
André Dartigues 32 400 Maumusson-Laguian.

### Résumé

Révolution agricole et lutte contre les aléas climatiques en Vic-Bilh dans le Sud-Ouest de la France, régions de collines aux sols hydromorphes et au climat pluvieux irrégulier

**Mots clés:** Sud-Ouest de la France, Vic-Bilh, vigne, maïs, aléas climatiques.

### Abstract

Agricultural révolution and fight against climatic risks in Vic-Bilh (South-West of France) in a hilly area with hydromorph soils and irregular rainy climate).

**Key-Words:** South-West of France, Vic-Bilh, vineyard, corn, climatic risks



### Introduction

La région du Vic-Bilh (vieux pays en occitan) portant le vignoble du Madiran (Dartigues et Granier, 2001, 2002), à 100 kilomètres des Pyrénées et de l'Atlantique, est nichée dans un coude de l'Adour. André Dartigues, agriculteur et observateur bénévole de Météo-France (depuis 1961) à Maumusson (Gers), a constitué de précieuses archives climatologiques et agricoles qui fournissent la base de cet article.

### 1. Une région de collines et de vallées : vignoble, maïs et prairies

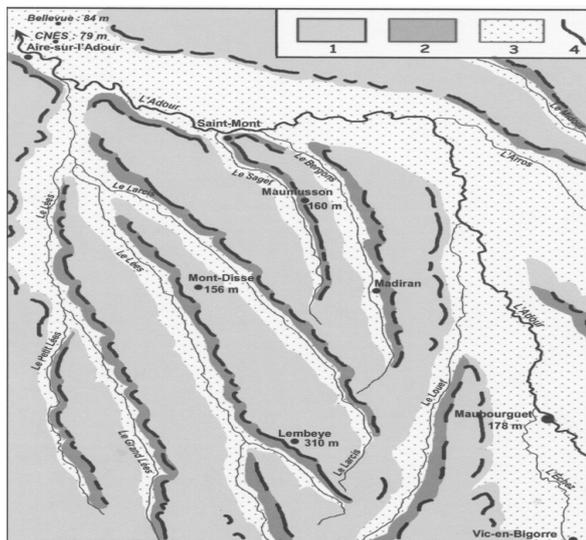


Figure 1. Carte du relief

1 Versant est : vignoble  
2 Versant ouest boisé  
3 Vallées alluviales : maïs  
4 Rebord abrupt  
C'est la partie nord occidentale du piémont pyrénéen, formé de lignes parallèles de coteaux et de vallées orientés nord-sud, coteaux qui s'abaissent de 300m au sud à 150m au nord et se terminent par des éperons dominant la vallée de l'Adour.

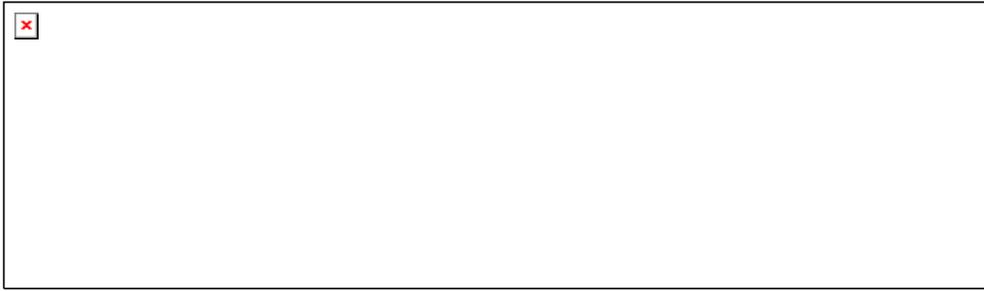


Figure 2. des coteaux dissymétriques

Photo 1. Le versant ouest : pente abrupte boisée, la vallée est cultivée en maïs (photo Avila)



Photo 2. Versant est : pente douce qui porte le vignoble du Madiran et le poste climatologique de Maumusson (photo Avila)

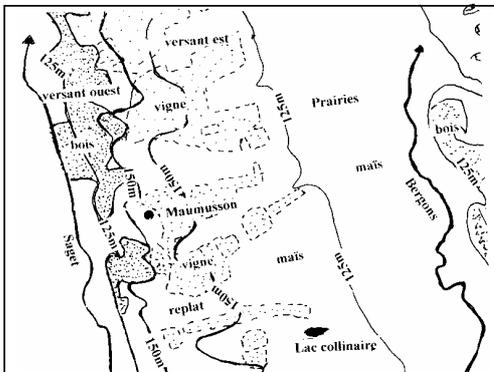


Figure 3. Occupation des sols (d'après carte IGN 1/25000<sup>ème</sup> (Riscle).  
Les sols limoneux molassiques, lessivés sur les coteaux et hydromorphes sur les basses pentes et fonds de vallée, sont difficiles à travailler : pluies excessives, sécheresses (Chauvaud 2001).  
Le vignoble couvre la partie supérieure des coteaux, maïs et prairies tapissent les parties inférieures et les fonds de vallée.

## 2. Un climat océanique pluvieux très irrégulier (normales 1971-2000)

2.1. Il pleut davantage sur les coteaux -1059mm, plus de 160 jours de précipitations à Maumusson - que dans la vallée de l'Adour - 939mm à Aire (Avila, 1999, 2003). Le total annuel varie du simple au double (Maumusson : 1499mm en 1992 et 759mm en 1987). Souvent excessive au printemps et en automne, la pluie peut faire défaut pendant de longs

mois, hiver comme été comme le montrent ces exemples : seulement 35,7mm du 8 décembre 1992 au 20 mars 1993 et 36 mm du 23 mai au 31 juillet 2005

Tableau 1. Précipitations mensuelles à Maumusson 1961-2004 : cas extrêmes

|           |            |            |           |            |           |           |
|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Juin 1992 | déc. 1981  | av. 1989   | oct. 1992 | mai 1980   | av. 1998  | oct. 1982 |
| 338mm     | 292mm      | 236mm      | 234mm     | 234mm      | 227mm     | 215mm     |
| mars 1961 | sept. 1977 | juil. 1994 | juin 1976 | avril 1982 | oct. 1969 | jan. 1993 |
| 0,0mm     | 0,9mm      | 4,5mm      | 6,5mm     | 7,0mm      | 9,2mm     | 10,0mm    |

2.2. Un climat irrégulier : hivers doux, gelées tardives, rares sur les crêtes, pouvant survenir fin mars et en avril, chaleur et fraîcheur alternant l'été, souvent la chaleur se prolonge en septembre-octobre, favorisant la maturation des récoltes. **Mais les excès sont nombreux.**

Tableau 2. Records de froid et chaleur à Maumusson (1962-05)

| Mois   | Jan.   | Fév.   | Mars. | Avril. | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Déc.   |
|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| froids | 0,5°   | 2,8°   | 5,3°  | 8,1°   | 13,5° | 16,0° | 18,6° | 18,5° | 15,9° | 9,7°  | 6,4°  | 2,2°   |
| minima | -17,5° | -10,7° | -9,4° | -3,1°  | 1,8°  | 4,8°  | 6,1°  | 6,1   | 3,0°  | -2,7° | -8,0° | -12,4° |
| chauds | 9,3°   | 11,7°  | 13,2° | 13,9°  | 18,2° | 23,4° | 23,2° | 26,2° | 21,9° | 17,9° | 12,4° | 10,3°  |
| maxima | 21,3°  | 25,9°  | 28,4° | 28,2°  | 34,7° | 38,8° | 40,2° | 41,5° | 37,0° | 34,2° | 26,8° | 23,4°  |

2.3. Les vallées sont plus froides (par ciel clair : inversions thermique) que les coteaux (Avila F. 1999, 2003) : la vigne est plantée sur les pentes, au-dessus des fonds de vallées.

Tableau 3. Aire/Adour (84m) et Maumusson (160m) - normales 1971-2000

|            | jan. | fév. | mars | avril | mai   | juin  | juil. | août  | sept. | oct. | nov. | déc. | année |
|------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Aire/Adour | 1,6° | 2,6° | 3,9° | 6,1°  | 10,1° | 13,0° | 14,9° | 14,8° | 11,8° | 8,6° | 4,5° | 2,6° | 7,9°  |
| gelées     | 10,8 | 8,3  | 5,9  | 0,9   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,4  | 5,6  | 9,5  | 41,5  |
| Maumusson  | 2,7° | 3,3° | 4,7° | 6,6°  | 10,5° | 13,2° | 15,4° | 15,5° | 12,7° | 9,4° | 5,2° | 3,3° | 8,5°  |
| gelées     | 8,8  | 6,6  | 3,3  | 0,5   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,2  | 3,9  | 8,1  | 31,3  |

### 3. Agriculture et aléas climatiques

#### 3.1. révolution agricole et aléas climatiques

Les années 1960-70 (remembrement, nouveaux cépages, hybrides pour le maïs, mécanisation.) ont métamorphosé l'agriculture locale, mieux armée contre la sécheresse (lacs collinaires), le machinisme permet d'utiliser au mieux les périodes de temps sec, mais les sols lourds sont inaccessibles aux engins agricoles lors des périodes de pluie excessives. Le poste climatique de Maumusson, a relevé, en 44 années, 13 cas de gelées tardives, 4 orages de grêle dévastateurs. La sécheresse est un phénomène fréquent (24 fois en 45 ans). Les pluies excessives sont encore plus gênantes (27 années sur 45) et compromettent trop souvent les semis et récoltes, générant des maladies cryptogamiques, rendant médiocre une récolte qui s'annonçait prometteuse.

#### 3.2. Exemples significatifs.

##### 3.2.1 Années catastrophiques

Pluies prolongées, sécheresse estivale, gelées tardives, grêle. **1962 et 1964** : sécheresse, demi récolte - **1971** : pluie de printemps, grêle en juin et août, tempête et violents orages en août, la vigne est gravement endommagée, la récolte 1972 est compromise. **16 septembre 1973** :

grêlons gros comme des oranges (200 gr.) **1977** : printemps froid (gelées fin mars) et pluvieux, été « pourri » et frais. **1991** : gelées intenses (18-22 avril : vignobles récolte compromise). **1992** : pluie diluvienne en juin, août et octobre. **1997** : septembre gros orage grêle : 28 cantons touchés (80 à 100%). **Novembre 2000**, pluies diluviennes : récolte du maïs compromise.

3.2.2. Années mitigées : 1962, 2003 : sécheresse : faibles productions, qualité excellente.

3.2.3. Années « idéales » (peu nombreuses) présentant du temps secs pour les semis, été pluvieux et chaud, automne sec au moment des récoltes : **1967** semis bonnes conditions et rendements remarquables. **1970** bons rendements, bonne qualité (vin et maïs). **1973** : excellentes récoltes dans tous les domaines. **1997** : record de productivité pour le maïs.

3.2.4. Le grand froid avec minima inférieurs à -10°, journées sans dégel (1962-63, janvier 1985 et 1987 ainsi que décembre 2001) n'a guère d'influence sur l'agriculture locale mais est une gêne pour la vie quotidienne (neige, gel des canalisations, barrières de dégel).

Tableau 4. Récapitulatif : années favorables et défavorables (archives Dartigues)

| Sécheresse | Pluies | Grêle | Gelées tardives | Années idéales |
|------------|--------|-------|-----------------|----------------|
| 1962       | 1971   | 1971  | 1962            | 1967           |
| 1964       | 1974   | 1973  | 1977            | 1970           |
| 1994       | 1977   | 1997  | 1991            | 1973           |
| 1995       | 1980   |       | 1996            | 1997           |
| 2003       | 1992   |       |                 |                |
| 2004       | 2000   |       |                 |                |

## Conclusion

Après un épisode « océanique » (1964-1982 Avila (1999), les flux méridiens sont plus fréquents entraînant sécheresses, canicules, grands froids, gelées tardives et précoces, pluies diluviennes. La viticulture et la maïsiculture dans le Vic-Bilh, en dépit des progrès constants, demeurent sensibles aux aléas climatiques (surtout aux excès d'eau) tandis que la course aux rendements pose avec acuité le problème de l'approvisionnement en eau pour le maïs.

## Bibliographie

AVILA.F. 1999 –Topoclimats thermiques en relief peu contrasté, moyen Adour et forêt des landes, thèse Université de Pau, 259 pages

AVILA F. 2004 – *Influence thermique du substrat et de la topographie sur les écarts thermiques nocturnes : moyen-Adour et forêt landaise*, AIC, volume 15, pp 135-242

BRUMONT F. 1999 – Madiran et Saint-Mont, histoire et devenir du vignoble, Atlantica 351p

CHAUVAUD D. 2001, Terroirs agricoles du Vic-Bilh, thèse Université de Pau, 359 pages

DARTIGUES A. et GRANIER S. 2001. Le vignoble du Madiran et Pacherenc du Vic-Bilh, 127p. Editions Alan Sutton

DARTIGUES A. et GRANIER S. 2002. Le pays du Saint-Mont, 127p. Editions Alan Sutton

## EVOLUTION DES EXTREMES EN FRANCE A PARTIR DES SERIES INSTRUMENTALES.

J.-M. MOISSELIN, B. DUBUISSON

*Météo-France ; Direction de la Climatologie ; 42, av. G. Coriolis ; 31057 Toulouse  
[jean-marc.moisselin@meteo.fr](mailto:jean-marc.moisselin@meteo.fr)*

### Résumé

Les séries quotidiennes de référence permettent de caractériser l'évolution des extrêmes en France. Tous les indices de températures sur 1951-2000 traduisent un réchauffement marqué ; des traces d'augmentation de variabilité sont repérées sur les températures maximales. Les tendances des précipitations sont moins systématiques mais on relève l'augmentation des sécheresses estivales et l'allongement des périodes pluvieuses.

### Mots-clés

Changement Climatique, France, extrêmes, températures, précipitations

### Abstract

Using daily reference series helps to estimate trends of extremes over France. Analyzing the indices emphasizes the systematic increase of all temperature-related indices for the period 1951-2000. Upward trend in variability is found with maximum temperature. As far as precipitation is concerned, less systematic trends are found, except for an increase in summer droughts and annual wet spells.

### Key-words

Climate Change, France, extremes, temperatures, rainfall

### Introduction

Le climat se caractérise par un état moyen mais aussi par les variations autour de cet état moyen. L'étude des changements climatiques passe donc aussi par celle des extrêmes. Cependant l'étude de l'évolution des extrêmes à partir de données instrumentales pose de nombreux problèmes spécifiques : la disponibilité des documents anciens et le coût de la saisie, le contrôle et la correction des données, l'obstacle statistique qui empêche de se pencher sur des phénomènes rarissimes (pour lesquels des tendances significatives ne peuvent généralement pas être dégagées). L'objet de ce document est de caractériser l'évolution des extrêmes de températures et de précipitations en France. La définition que l'on retient est celle de la communauté *des climatologues*, via le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat) : les extrêmes sont des phénomènes rares (Houghton et al., 2001). On utilise légitimement des acceptions différentes dans d'autres domaines d'activités mais les notions de vulnérabilité, de population affectée compliquent alors l'analyse.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet pluridisciplinaire IMFREX (impact des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent, de température et de précipitations) du programme GICC (Gestion et Impacts du Changement Climatique) du MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable).

### 1 Les indices climatiques et les séries de référence

La communauté *des climatologues* a proposé différents indices climatiques pour caractériser l'évolution des extrêmes, principalement dans le cadre de CLIVAR (programme *climate variability and predictability* de l'OMM, Organisation Météorologique Mondiale). Le site du projet européen ECA&D (*European Climate Assessment and Dataset*) présente un

dictionnaire complet d'indices et les diagnostics observés pour des séries en Europe sur différentes périodes (<http://eca.knmi.nl/>).

La question de la fiabilité des séries est primordiale dans les études sur les changements climatiques. Il existe des méthodes reconnues et largement utilisées pour l'homogénéisation de séries mensuelles (détection et correction des ruptures extra-climatiques). Le calcul de la plupart des indices nécessite cependant des séries quotidiennes. On a retenu dans cette étude une méthode de « sélection sans correction » des données quotidiennes. Si la série des valeurs mensuelles présente, par exemple, une rupture forte en 1955 (que l'on peut corriger), la série quotidienne présente une rupture forte (que l'on ne sait pas corriger) : les données quotidiennes antérieures à cette rupture ne seront pas utilisées.

Cette approche est adaptée d'études précédentes (Frich et al., 2002) et s'appuie sur la méthode de détection utilisée à Météo-France (Caussinus et al., 2004). D'autres critères permettent d'affiner la sélection et exploitent les métadonnées disponibles : taux de données manquantes, déplacements de poste successifs. Sur la période exploitable, la série devient SQR (**soit : série quotidienne de référence**). Les séries homogénéisées séculaires sont au nombre de 70 pour les températures et de l'ordre de 300 pour les précipitations. Le nombre de SQR exploitables dépend ensuite de la période considérée et du paramètre. Par exemple sur 1951-2000, on a : 26 SQR de température quotidienne minimale (Tn), 43 SQR de température quotidienne maximale (Tx) et 98 SQR de précipitations (RR).

## 2 Evolution des indices climatiques en France

L'évolution des paramètres moyens à partir de séries homogénéisées au cours du XXème siècle a été décrite à travers plusieurs articles de synthèse (Moisselin et al., 2002). Les analyses ci-après portent sur l'évolution des indices climatiques au cours de la période 1951-2000 et sont généralement établis à partir des SQR. Le site internet du projet IMFREX (<http://medias.cnrs.fr/imfrex/>) présente un panorama très complet sur différentes périodes et pour tous les indices retenus.

|   | --        | -         | +         | ++         | N  |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|----|
| Fd, nombre de jours de gel                                  | <b>77</b> | <b>23</b> | 0         | 0          | 26 |
| ETR, amplitude thermique absolue                            | <b>6</b>  | <b>72</b> | 22        | 0          | 18 |
| GSL, période croissance végétative                          | 0         | 22        | <b>50</b> | <b>28</b>  | 18 |
| HWDI, nombre de jours de vagues de chaleur                  | 2         | 5         | <b>80</b> | <b>13</b>  | 40 |
| Tn90p, nuits relativement chaudes                           | 0         | 0         | <b>0</b>  | <b>100</b> | 26 |
| R10, nombre de jours avec des RR>10mm                       | 3         | <b>30</b> | <b>56</b> | 11         | 98 |
| CDD, période sèche la plus longue (RR<1mm)                  | 5         | <b>56</b> | <b>39</b> | 0          | 98 |
| R5d, maximum du cumul de pluie sur 5 jours                  | 0         | <b>25</b> | <b>68</b> | 7          | 98 |
| SDII, cumul moyen de pluies des jours pluvieux              | 19        | <b>42</b> | <b>33</b> | 6          | 98 |
| R95T, fraction des RR supérieures au demi-décile supérieur. | 3         | <b>40</b> | <b>52</b> | 5          | 98 |

Tableau1 :évolution 1951-2000 en France métropolitaine des dix indices recommandés dans l'échange d'informations relatives à l'évolution du climat (Frich et al., 2002). Les colonnes 2 à 5 présentent le pourcentage de séries avec diminution (-) ou augmentation (+) ; quand l'évolution est significative, le symbole est doublé (significativité établie à travers un test sur le coefficient de Spearman, corrélation des rangs, avec une confiance de 95%). Le nombre de séries est dans la colonne N

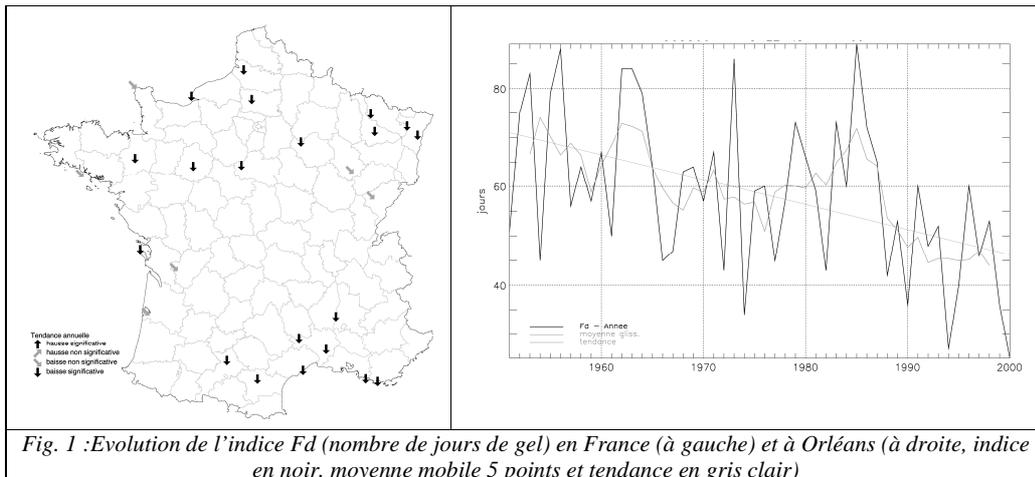
On note dans le tableau qui précède la diminution des extrêmes froids et l'augmentation des extrêmes chauds. La médiane des tendances de Fd est de -3.2j/décennie, le quartile supérieur des tendances de GSL est de 5.9j/décennie, celui de Tn90p de 5.5j/décennie.

Les précipitations présentent un signal moins net, dans la continuité de précédentes analyses (Moisselin et al., 2002). Les évolutions sont en majorité non significatives, les ordres de grandeur sont faibles : ainsi le quartile supérieur des tendances de R10 vaut +0.8j/décennie. Les indices présentent généralement un contraste nord-sud (traduisant une pluviométrie plutôt en hausse sur une grande partie Nord) et été-hiver (sécheresses estivales en augmentation).

En utilisant les termes d'autres études (Easterling et al.; 2000), on note des évolutions : Nettes sur : « Tx plus élevées » (0.15 à 0.3°C/décennie), « plus d'étés chauds » (températures moyennes en hausse de 0.2 à 0.3°C/décennie), « Tn plus élevées » (de 0.2 à 0.35°C/décennie), « moins de jours de gel » (voir fig 1).

Relativement nettes pour « plus de vagues de chaleur », « moins de vagues de froid », « plus d'évènements pluvieux » et, en été, pour des « sécheresses aggravées »

Peu évidentes ou contrastées sur « plus d'évènements générant des cumuls journaliers intenses », « plus d'évènements générant des cumuls multi-journaliers intenses »



La richesse des indices a permis d'examiner des aspects nouveaux et montre également : Des traces d'augmentation de la variabilité des Tx, surtout en été : la médiane des tendances de Tx10 est de 0.1°C/décennie, celle de Tx90 est de 0.5°C/décennie (Tx10 : décile inférieur des Tx, Tx90 : décile supérieur des Tx). On ne détecte pas de comportement équivalent sur les Tn.

Un allongement des périodes pluvieuses : 57% des séries de *wet\_spell\_mean* (durée moyenne des périodes humides) sont en hausse significative.

## Conclusion

Données quotidiennes fiables et relativement nombreuses, les SQR ont mérité de leur appellation au cours du projet IMFREX. Outre l'examen des tendances passées, les SQR ont aussi contribué à valider et calibrer les modèles numériques de climat pour la période « climat présent » et ont donc participé, indirectement, à la description du climat prévu à la fin du XXIème siècle.

La principale crainte liée à une évolution du climat du climat vient de l'augmentation possible de la fréquence des phénomènes extrêmes. Notre étude a permis une avancée significative dans la quantification des évolutions des phénomènes extrêmes en France au cours des dernières décennies et certaines évolutions sont particulièrement nettes. Si on y associe les

diagnostics prévus pour les décennies à venir, on dispose d'un ensemble permettant de mieux cerner les impacts des changements climatiques et de définir de possibles stratégies d'adaptation.

### Références

- CAUSSINUS, H., MESTRE, O., 2004, Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Appl. Statist.*, part 3, 405-425.
- EASTERLING, D. R., MEEHL, G. A., PARMESAN, C., CHANGNON, S. A., KARL, T. R., MEARNES, L. O., 2000, Climate extremes: observations, modeling, and impacts, *Science*, 289, 2068-2074.
- FRICH, P., ALEXANDER, L. V., DELTA-MARTA, P., GLEASON, B., HAYLOCK, M., KLEIN TANK, A. M. G., PETERSON, T., 2002, Observed coherent change in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Research*, Vol 19, pp 193-212.
- HOUGHTON, J. T., DING, Y. , GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P. J., XIAOSU, D., 2001, (eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of IPCC, Cambridge University Press, UK, pp 944.
- KLEIN TANK, A. M. G., KÖNNEN, G. P., SELTEN F. M., 2004, signals of anthropogenic influence on European warming as seen in the trend patterns of daily temperature variance, *Int. J. Climate*, 16, pp 3665-3680.
- MOISSELIN, J.-M., SCHNEIDER, M., CANELLAS, C., MESTRE, O., 2002, Changements Climatiques en France au 20ème siècle. Etude des longues séries de données homogénéisées françaises de précipitations et températures, *La Météorologie*, 38, pp 45-56.

## UNE NOUVELLE APPROCHE DANS L'ETUDE DES VENTS A DIFFERENTES ECHELLES EN MILIEU ALPIN ET EN HIVER

C. CHAIX, A. MARNEZY <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Environnement, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM), CNRS – UMR 5204, Université de Savoie, CISM, campus scientifique, F 73376 Le Bourget du Lac Cedex  
Tel : 0479758737 ou 8707 ;  
email : [chaix-ch@wanadoo.fr](mailto:chaix-ch@wanadoo.fr) ; [alain.marnezy@univ-savoie.fr](mailto:alain.marnezy@univ-savoie.fr)

### Résumé

Les vents qui peuvent se manifester en montagne et en hiver ont des comportements bien précis qui sont le reflet des conditions synoptiques présents sur le site. L'influence du relief, ainsi que la présence d'un manteau neigeux, augmentent les contraintes qui conditionnent les directions et les vitesses des vents et leur variabilité. Grâce aux anémomètres disposés sur les domaines skiables afin de faciliter l'enneigement artificiel, on dispose d'une banque de données étoffée sur des mesures de vents effectuées sur des versants de montagne, entre 1500m et 2800m environ, en saison hivernale. L'analyse de ces données montre que les phénomènes agissent sur plusieurs échelles, en fonction de la topographie et des formes emboîtées (versant, vallon, vallée...), et de la température. Nous verrons alors quels sont les types de temps les plus communs sur certains sites et le comportement des vents, puis nous mettrons en relation les mesures de vents en altitude et sur les versants lors de la tempête de décembre 1999.

**Mots-clés:** Topoclimatologie, montagne, vents, brises, températures, échelles.

### Abstract

The winds which can appear in the mountains during the winter have quite precise behaviours which are a reflection of the synoptic conditions present on the site. The influence of the relief, as well as snow cover, increase the constraints which condition the direction and speed of the winds and their variability. Thanks to the anemometers laid out on the ski slopes in order to facilitate the production of artificial snow, we have a databank packed with wind measurements on mountain slopes during the winter season, between altitudes of 1500m and 2800m. The analysis of data shows that the phenomena act on several levels, according to the topography, the encased forms (slope, small valley, valley...), and the temperature. We will be seeing which are the most common weather types on some sites and the behaviour of the winds, then we will connect measurements of winds in altitude and on the slopes at the time of the storm of December 1999.

**Keywords:** Topoclimatology, mountain, winds, breezes, temperatures, scales.

### Introduction

Les connaissances sur les phénomènes climatiques de montagne sont assez fournies même si le milieu d'étude reste complexe. Pourtant, il existe une saison où les théories restent en partie spéculatives : l'hiver. Il est effectivement très compliqué d'instrumenter un site de montagne dans le froid et la neige, et cela pendant plusieurs mois. Grâce aux mesures effectuées par les installations d'enneigement artificiel des stations de sports d'hiver, cela devient possible (Chaix, 2004). Les données enregistrées fournissent un panel de mesures très intéressantes et les anémomètres (hauteur : 3m) posés sur les domaines skiables peuvent nous donner un aperçu exhaustif du comportement des vents en montagne, en relation avec les températures, et les types de situations synoptiques. Les brises s'organisent de façon différente entre l'hiver et l'été sur les versants, et la topographie induit souvent une différenciation dans leur

direction. Car dans une même journée, une zone peut ressentir un vent de pente ascendant, une brise de vallée, de vallon... Ou des brises d'amont ! Il existe donc plusieurs échelles d'analyse. De même, un vent synoptique très rapide peut avoir un comportement différent entre les crêtes d'une montagne et un versant.

### 1. Les vents sur les versants de montagne en hiver.

Pour comprendre les différents types de champs de vents et leur prévision, il est utile de regrouper un maximum d'informations sur les conditions synoptiques et de les comparer avec les mesures des vents et des températures sur les versants. On distingue alors différents comportements qui permettent de singulariser plusieurs situations possibles (comme une ambiance climatique). On distingue sur le versant sud d'Aussois (Vallée de la Maurienne, Savoie) six situations particulières qui sont visualisables de la fig.1 à la fig.6. Ces figures ont été créées avec un MNT sur Surfer® et les interpolations effectuées par krigeage.



Le 01/02/99, un bel anticyclone prend la place d'une dépression qui avait amené son lot de neige et de froid. Tout d'abord, lors de situations radiatives nocturnes, les brises d'amont dominant et la théorie selon laquelle ces vents s'organisent en fonction de la direction et de l'inclinaison de la pente est bien respectée (Bridier, 2001).

On remarque déjà au niveau thermique une zone plus chaude située au milieu du versant, alors que le haut et le bas ont des températures assez semblables (fig.1). Nous sommes en présence d'une inversion de températures. Vers 14h, l'air froid reste présent, l'inversion a du mal à se casser et les brises d'amont continuent en haut du versant, une brise d'aval se fait ressentir en bas et un système de vents contraires s'impose au milieu du versant (fig.2). La brise d'aval semble y rencontrer la brise d'amont et celles-ci divergent vers les talwegs, comme une renverse qui perdurerait (Monti *et al*, 2002).

Le lendemain (14h), les températures augmentent et les brises d'amont du haut du versant laissent la place aux brises d'aval (fig.3). La topographie et les températures peuvent permettre d'expliquer cette complexité apparente de la répartition des brises d'aval puisque sur d'autres sites on remarque que des vallons divergeant de la pente générale ont des écoulements internes qui s'individualisent par rapport aux écoulements de versants (Smith *et al*, 2004), le tout lié à des poches d'air plus chaudes. Ces vents font vraiment partie de l'échelle microlocale. Enfin, lorsque l'anticyclone est bien installé, la brise d'aval s'impose totalement (fig.4).

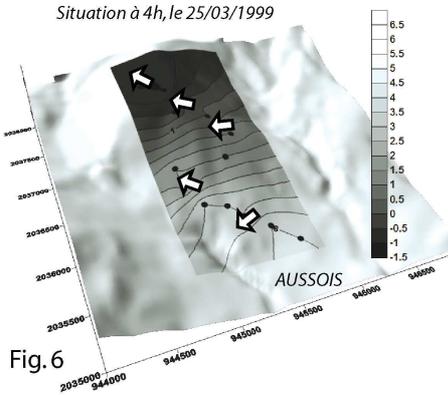
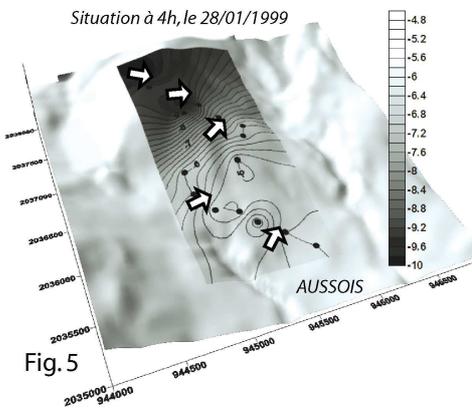
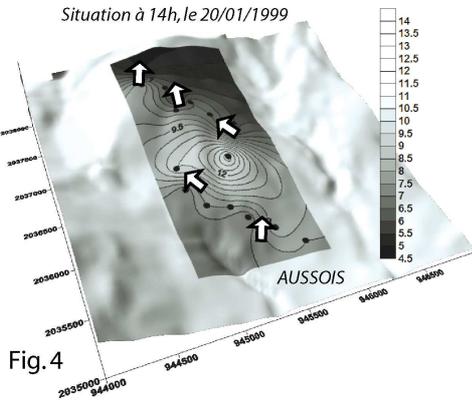
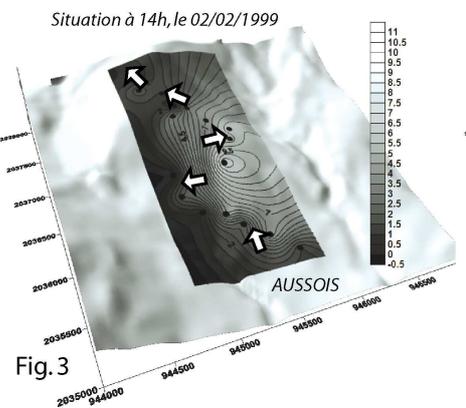
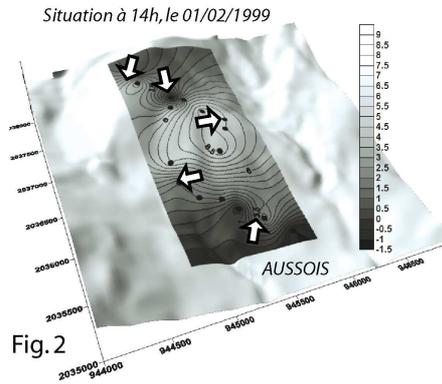
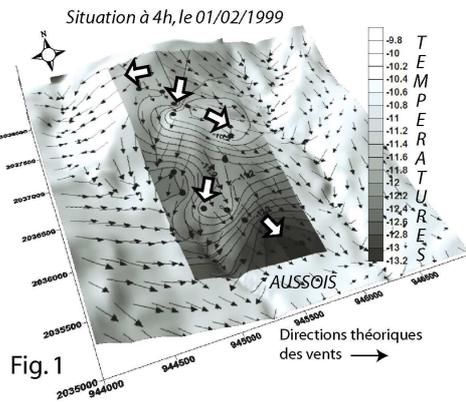
Il existe bien sûr des situations plus simples à décrire. La canalisation des vents par le relief permet une singularisation des directions des vents synoptiques comme lors d'une situation dépressionnaire classique avec une atmosphère très instable et des températures fraîches (fig.5). Les vents arrivent presque toujours par l'ouest (sud-ouest en aval et nord-ouest en amont). Enfin, les situations de sud-ouest apportent un foehn qui vient de l'est, c'est-à-dire du haut de la vallée de la Maurienne, en relation avec la lombarde (fig.6). Sur les autres versants étudiés dans les hautes vallées, le foehn a une direction quasi-exclusive de sud.

### 2) Les vents lors de la tempête de décembre 1999.

Des vents très véloces ont touché la Savoie le 26, 27 et 28 décembre 1999 et ont été mesurés par la station Météo-France de la Masse (2800m) sur une crête sur le site des Menuires et au

Directions des vents et répartitions des températures sur le versant sud d'Aussois

- Sondes de température ● - Directions des vents ⇨ - Echelle : 500m



col du Mont-Cenis à 2042m. Les vents ont atteint 150 Km/h le 26 à 11h et 194 Km/h le 28 à 01h à la Masse, et respectivement 176 Km/h et 100 Km/h au Mont-Cenis. Sur les versants, les vents mesurés sont comparativement très faibles, même à Val Thorens situé en face de la

Masse et bien exposé. Les vitesses tendent en moyenne vers 50 Km/h, voir plus faible aux Menuires ou plus fort le 28 dans l'après-midi à Aussois où le haut du versant a été soufflé par des vents à presque 100 Km/h. On peut donc en conclure qu'il existe une différence de 100 à 150 Km/h entre la vitesse d'un fort vent synoptique sur une crête et sur un versant situé quelques centaines de mètres en aval, dans les Alpes « intérieures ». Pourtant, un anémomètre a été cassé à Val Thorens par le vent et les installations ont du être arrêtées aux Menuires. Les rafales sont la cause de ces dégâts et l'on constate qu'elles se manifestent à des échelles de temps très fines, inférieures au quart d'heure en tout cas, et donc très difficilement mesurables. Les directions sont quant à elles, au contraire des vents de crêtes, très bien définies, d'ouest sur tous les versants de l'étude. Elles sont très contraintes par le relief et donc bien plus faciles à prévoir qu'en altitude. Il est aussi intéressant de constater qu'entre les deux tempêtes, pendant quelques heures, les brises d'amont ont repris leurs activités alors que le vent restait d'ouest en altitude, avec une faible vitesse.

## Conclusion

Les brises en montagne en hiver et dans les hautes vallées alpines ont un comportement différent des schémas classiques décrits pour des brises estivales [Rampanelli *et al*, 2004]. Et ceci principalement pour les brises d'aval, qui résistent peu aux inversions de températures persistantes dans le bas des vallées. On retrouve un grand nombre de situations où plusieurs vents se conjuguent à différentes échelles sur le versant, en fonction de la topographie. Des systèmes de micro-cellules engendrées par la rencontre de brises d'amont puissantes et de brises d'aval donnent naissance à des contre-brises d'amont ou des vents transversaux, persistants sur plusieurs heures de la journée. Les données enregistrées par les installations d'enneigement devraient permettre d'analyser ces classes de vents plus en profondeur et de mettre au point un système de prévision fiable.

## Données météorologiques

Services des pistes Aussois, Valloire et Les Menuires/Val Thorens ; YORK S.A. ; Météo-France.

## Bibliographie

- BRIDIER, S. (2001) *Modélisation de la répartition des brises et des températures en situation radiative*, thèse de doctorat de l'Université de Paris VII, Paris, 189 pages.
- CHAIX, C. (2004) Une nouvelle approche dans l'étude des microclimats et phénomènes atmosphériques de la montagne alpine : l'analyse des données météorologiques issues des installations d'enneigement artificiel des stations de sports d'hiver, *Actes du XVIIe Colloques de l'AIC*, pp. 273-276.
- GUYOT, G. (1999) *Climatologie de l'environnement*, Dunod, 2<sup>e</sup> édition, Paris, 525 pages.
- MONTI, P., FERNANDO, H.J.S, PRINCEVAC, M. *et al* (2002) Observations of flow and turbulence in the nocturnal boundary layer over a slope, *Journal of Atmospheric Sciences*, vol.59, n°17, pp. 2513-2534.
- RAMPANELLI, G., ZARDI, D., ROTTUNO, R. (2004) Mechanisms of Up-Valley Winds, *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol.61, pp.3097-3111.
- SMITH, C., SKYLLINGSTAD, E. (2004) A modeling study of katabatic flows over slopes with changing slope angle. IN : *11th Conf. On Mountain Meteorology, 21-25 June 2004, Barlett NH, USA* (en ligne). AMS. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/77034.pdf> (05/01/2005).
- WHITEMAN, C.D. (2000) *Mountain Meteorology, fundamentals and applications*, Oxford University Press, New-York, 355 pages.

## BILAN THERMIQUE DE L'ETE 2003 EN CORSE : UNE CANICULE ?

S. ROME

*IUFM de Corse – Campus Caraman – 20250 Corte (France)*  
*UMR 6012 E.S.P.A.C.E., Gestion et Valorisation de l'Environnement (Nice)*  
*sandra.rome@wanadoo.fr*

### Résumé

Face aux différences de surmortalité entre les deux départements corses en août 2003, cet article étudie la distribution spatiale et temporelle des températures quotidiennes minimales et maximales de 38 stations du 1er juin au 31 août 2003. Des analyses statistiques révèlent des particularismes régionaux. Dans tous les cas, les températures sont supérieures aux normales mensuelles, et de nombreuses stations enregistrent des jours de forte et de très forte chaleur. Des indices thermiques montrent que la canicule a duré régionalement du 5 au 19 août 2003.

**Mots clefs :** Température, Corse, canicule, jours de forte chaleur.

### Abstract

The two Corsican departments showed a significant difference of over-mortality during the heat wave in August 2003. So this paper studies the spatio-temporal distribution of the daily minimum and maximum temperatures for 38 stations from 06/01/03 to 08/31/2003. Statistical analyses reveal regional patterns. In all cases, the temperatures are higher than 1971-2000 averages; many thermal time-series record strong and very strong daily values. Regional indices show a heat wave which lasted of the 5 to the 19 August 2003.

**Key words :** Temperature, Corsica, heat wave, days of strong heat.

### Introduction

Au cours de la première quinzaine d'août 2003, une grande partie de la France et de l'Europe de l'Ouest a connu une vague de chaleur intense (Fallot, 2003 ; Bessemoulin et al., 2004 ; Houdart, 2004), entraînant un nombre de décès supplémentaires de 15 000 personnes pour le seul mois d'août (Hemon et Jouglu, 2003). Alors que cette surmortalité a essentiellement touché les villes petites et moyennes, elle a été moins marquée dans les zones rurales et les petites agglomérations (INSERM, 2003). Selon Besancenot (2002), une personne qui a l'habitude de la chaleur sera moins vulnérable à une vague de canicule. Aussi, la Corse, à l'instar d'autres régions méridionales françaises, a certes connu une augmentation de la mortalité en août 2003, mais moins importante que la moyenne nationale. Cependant, en Haute-Corse, la surmortalité est de 290% alors que nombre de décès a en revanche diminué en Corse-du-Sud. L'OMM définit la canicule par un « réchauffement important de l'air, ou une invasion d'air très chaud sur un vaste territoire, généralement de quelques jours à quelques semaines ». Météo-France précise que la canicule correspond à une « période d'au moins deux jours consécutifs au cours desquels les températures ont atteint ou dépassé la valeur de 35°C » (Bessemoulin et al., 2004). La problématique de cet article consiste donc à étudier les différenciations spatiales des températures minimales et maximales de l'air durant l'été 2003, afin de préciser le risque de canicule en Corse.

## 1. Un réseau de mesures thermiques inégalement réparti sur l'île

La Corse, avec 8722 km<sup>2</sup>, est la 4<sup>ème</sup> plus grande île de la Méditerranée. Cette « montagne dans la mer » située à l'ouest des côtes Tyrrhéniennes, bénéficie d'un climat méditerranéen jusqu'à 1000-1200 mètres altitude. L'étude s'appuie sur les données de Météo-France disponibles via la Climathèque. Seules 38 stations parmi les 213 référencées en Corse, fournissent des données quotidiennes de températures minimale (Tn) et maximale (Tx), pour la période allant du 1er juin au 31 août 2003. Mais ce réseau thermique demeure inégalement réparti sur l'ensemble de l'île (Fig.1).

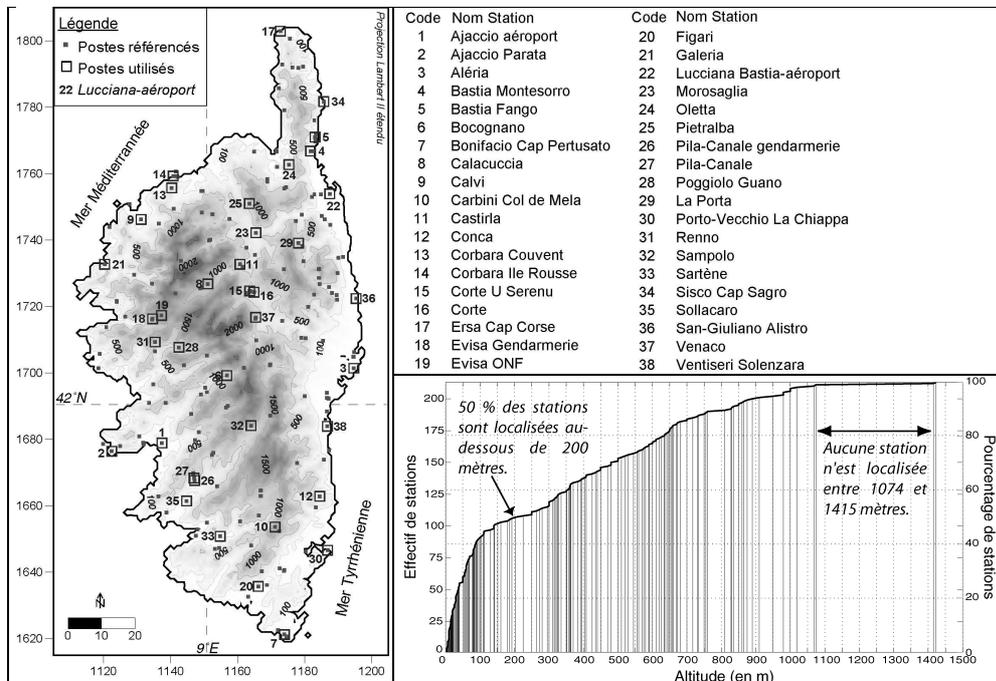


Figure 5 : Le réseau thermique utilisé (à gauche : carte des stations disposant de mesures de température de l'air sur la période juin-juillet-août 2003 ; réseau Météo-France ; les isohypses sont signalées par des chiffres en italique ; à droite en bas : répartition des stations en fonction de l'altitude).

Le relief corse est très escarpé puisque 70 % des terres sont situées à une altitude supérieure à 200 m (point culminant : Monte Cinto avec 2710 m). Or, sur les 213 stations répertoriées par Météo-France, seule la moitié est localisée au-dessus de 200 m d'altitude, et 20 % des stations sont localisées au-dessus de 625 mètres, aucune au-delà de 1450 mètres. Cette anisotropie spatiale influence ainsi toute tentative d'analyse basée sur de simples moyennes thermiques insulaires ou quelques stations isolées.

## 2. Jours de très forte chaleur et canicule surtout à l'intérieur de l'île

Les jours de forte chaleur (i.e.  $T_x \geq 30^\circ\text{C}$ ) sont nombreux en juin-juillet-août 2003, notamment dans les zones anthropisées d'Ajaccio et de Bastia. Les normales thermiques mensuelles (1971-2000) des minima et maxima sont ainsi largement dépassées entre mi-juillet et fin août (Fig. 2). A l'exception de quelques jours début juillet, les  $T_x$  dépassent localement de 8 à 10°C ces normales. Cependant, les pics de température ( $T_x > 37^\circ\text{C}$ ) ne sont pas synchrones (5 août à Bastia, les 13 et 18 août à Ajaccio).

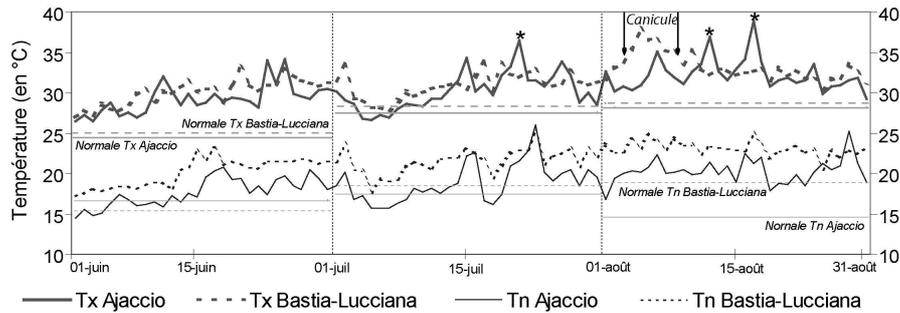


Figure 2 : Evolution des Tn et des Tx en juin-juillet-août 2003 aux stations d' Ajaccio et de Bastia-Lucciana (les normales 1971-2000 sont indiquées par des traits horizontaux ; la période de canicule est indiquée par des flèches et les jours de très forte chaleur par un astérisque).

Les jours de très forte chaleur (i.e.  $T_x \geq 35^\circ\text{C}$ ) sont plus nombreux à Bastia (7 jours) qu'à Ajaccio (4 jours). La canicule (i.e.  $T_x \geq 35^\circ\text{C}$  pendant au moins 2 jours consécutifs) est par exemple enregistrée à Bastia-Lucciana (du 4 au 9 août) mais pas à Ajaccio. Toutefois, ces deux stations synoptiques, souvent considérées comme référentielles, ne sont pas représentatives des variations insulaires. L'examen de l'ensemble du réseau permet, par exemple, de constater l'absence de canicule dans la majeure partie des stations littorales. C'est aussi le cas des stations intérieures au-delà de 800 m d'altitude. En revanche, la canicule est notée à plusieurs reprises en juin, juillet et une grande partie du mois d'août, dans plusieurs stations intérieures de faible altitude, telles Morosaglia (203 m), Corte (404 m), Castirla (351 m) ou Sollacaro (62 m). Une analyse factorielle permet de mieux identifier ces variations spatio-temporelles.

### 3. Détection des périodes caniculaires et relation avec les températures nocturnes

L'analyse factorielle (ACP) effectuée sur les Tn et les Tx de juin-juillet-août 2003 montrent un effet de masse sur le premier facteur (Fig. 3).

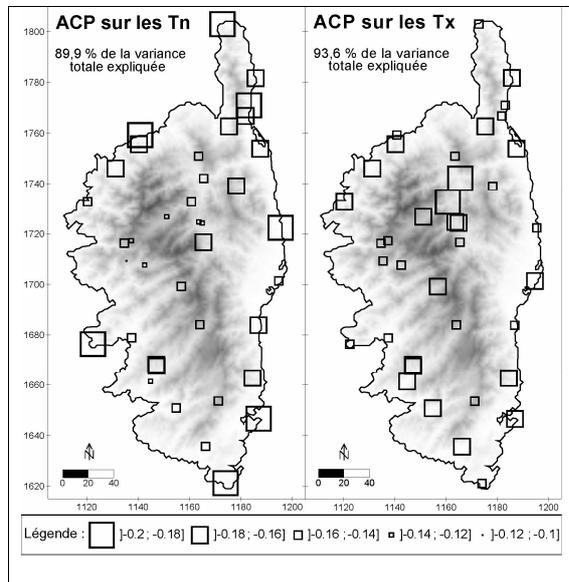


Figure 6 : Poids factoriel de la 1ère composante d'une ACP calculée respectivement sur les Tn et les Tx en juin-juillet-août 2003 (à partir des valeurs brutes des données quotidiennes des 38 stations de référence).

La 1ère Composante Principale calculée sur les Tx caractérise les jours de forte et de très forte chaleur des stations intérieures, notamment de Castirla, Morosaglia, Corte et Sollacaro. Ce fort réchauffement diurne en zone de moyenne altitude (200-500 m) s'oppose à la relative fraîcheur des stations littorales (altitude < 200 m) et d'altitude (> 500 m).

L'axe 1 correspondant aux Tn met en évidence la douceur nocturne ( $T_n > 20^\circ\text{C}$ ) des stations littorales, telles Ersas-Cap Corse, Bastia-Fango, Ile Rousse, Ajaccio-Parata, Porto Vecchio et San Giuliano-Alistro. Au contraire, les stations intérieures enregistrent des nuits plus fraîches ( $T_n$  de l'ordre de  $16^\circ\text{C}$ ). L'examen d'indices régionaux de température (Fig. 4) indique que les Tx et les Tn sont très élevées sur toute la période, et plus particulièrement du 6 au 19 août (indice Tx  $> 35^\circ\text{C}$ ). Seules les 1ères décades de juin et de juillet enregistrent des Tx inférieures à  $30^\circ\text{C}$ . Cependant, les amplitudes thermiques entre les 38 stations (minimum des Tx et maximum des Tx par exemple) sont assez importantes, allant notamment le 31 juillet, de  $21,2^\circ\text{C}$  pour la station la plus fraîche, jusqu'à  $38^\circ\text{C}$  pour les plus chaudes.

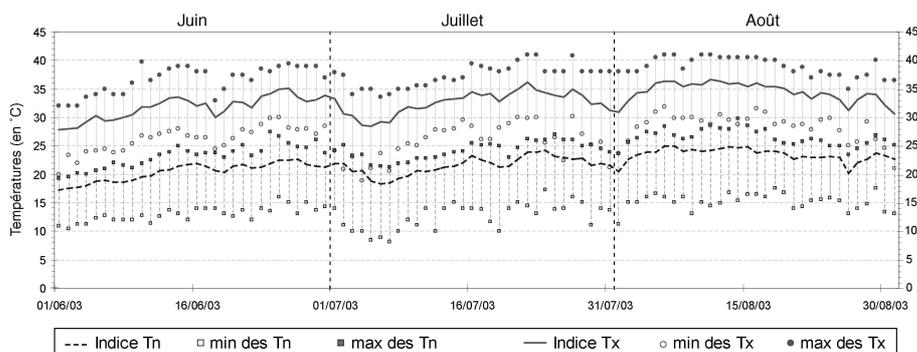


Figure : Indices synthétiques des Tn et Tx en juin-juillet-août 2003 ; à partir des ACP précédentes, ces indices régionaux (courbes) sont obtenus en moyennant les séries brutes des stations enregistrant des poids factoriels significatifs à 90 % ; l'amplitude quotidienne est également indiquée pour chacun des indices, mais calculée sur les 38 stations du réseau.

## Conclusion

La période juin-juillet-août 2003 a été particulièrement chaude partout en Corse, avec des températures dépassant localement les normales saisonnières de 8 à  $10^\circ\text{C}$ . La canicule de cet été intéresse essentiellement les stations intérieures de l'île situées à moins de 500 m d'altitude. Ailleurs, les stations littorales ou intérieures d'altitude n'enregistrent que des jours de forte chaleur, mais pas de canicule, au sens défini par Météo-France.

## Références bibliographiques

- BESANCENOT J.-P., 2002 : Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. Environnement, risques et santé, vol. 10.
- BESSEMOULIN P., BOURDETTE N., COURTIER P. ET NANACH J., 2004 : La canicule d'août 2003 en France et en Europe. La Météorologie n°46, août 2004 ; 25-33.
- EVIN C. (Président), 2004 : Commission d'enquête sur les conséquences sanitaires et sociales de la canicule. Rapport n°1455 - tome 1 ; Assemblée Nationale du 25/02/2004.
- FALLOT J.-M., 2003 : Eté 2003 en Suisse. AIC infoclimat, <http://www.aic>.
- HEMON D. ET JOUGLA E., (sous la direction de) 2003 : Estimation de la surmortalité liée à la canicule d'août 2003 et principales caractéristiques épidémiologiques. INSERM, 25 septembre 2003, Rapport d'étape, 233 pages.
- HOUDART M. (sous la coordination de), 2004 : Impacts des conditions climatiques de l'été 2003 sur la faune et la flore marines. IFREMER Environnement, vol. 2.

## APPORT DES SIMULATIONS DU MODELE MESO NH POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DU CHAMP DE VENT DANS LA MARNE

M. MADELIN<sup>1</sup>, G. BELTRANDO<sup>1</sup>, L. LABBE<sup>2</sup> et C. JACQUART<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR PRODIG, Université Paris VII, 2 place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05

<sup>2</sup> Centre Interrégional Météo-France Nord, 18 rue Elisée Reclus, BP7, 59651 Villeneuve d'Ascq Cedex  
([malika.madelin@wanadoo.fr](mailto:malika.madelin@wanadoo.fr))

### Résumé

Pour simuler le comportement dynamique de l'atmosphère, le modèle numérique Meso NH a été utilisé. L'étude présentée ici porte sur le vent à 2 m lors de la nuit froide du 16 au 17 mars 2003. Les sorties de modèle ont été comparées avec les données enregistrées dans un réseau de stations au sol. Les résultats montrent que sur le plan qualitatif, le modèle simule correctement les directions du flux, en prenant en compte l'influence de la topographie, mais sur le plan quantitatif, les vitesses simulées sont souvent plus rapides que celles observées.

**Mots-clefs :** vent, modèle numérique Meso NH, vignoble de Champagne, topoclimatologie

### Abstract

In order to simulate the dynamical behaviour of the atmosphere, the numerical model MesoNH was used. This study deals with the wind at 2 m during the cold night of March 16-17, 2003. The outputs of the model were compared with the data recorded at the ground level in a network of weather stations. The results show that whereas at a qualitative level the model simulates correctly the flux directions, taking into account the influence of topography, at a quantitative level, the simulated wind speeds are often larger than the observed ones.

**Key-words:** wind, numerical model Meso NH, Champagne vineyard, topoclimatology

### Introduction

Depuis plusieurs années, de nombreuses recherches ont été menées sur le risque des gelées printanières dans le vignoble de Champagne [Sarmir, 1995 ; Beltrando, 1998 ; Bridier *et al.*, 2004 ; Madelin, 2004]. Elles ont montré l'importance des écoulements de l'air et de la topographie sur la répartition des températures minimales, lors des nuits de ciel clair et de vent faible, notamment à partir de mesures sur le terrain. Afin d'affiner la connaissance de la répartition spatiale de l'aléa gélif sur le vignoble marnais, nous avons utilisé, dans le cadre d'un accord tripartite (CIVC, Météo France Nord, Université PARIS 7), le modèle Meso NH pour simuler les champs de plusieurs paramètres météorologiques, tels le vent et les températures. Dans ce travail, nous présentons et discutons quelques sorties de champs de vent, en nous attachant en particulier à mettre en évidence l'influence de la topographie sur les écoulements de l'air simulés et les répercussions possibles sur la répartition des températures.

## 1. LE MODELE MESO NH

Le modèle Meso NH est un modèle atmosphérique à méso-échelle non hydrostatique<sup>5</sup>, développé conjointement par Météo France et le laboratoire d'Aérodynamique du CNRS à Toulouse [Lafore *et al.*, 1998]. Il permet de simuler les mouvements de l'atmosphère sur une large gamme d'échelles s'étendant de l'échelle synoptique jusqu'à l'échelle micro-climatique. Sa résolution spatiale (250 m à 100 km), beaucoup plus fine que celle des modèles météorologiques classiques, tels les modèles ARPEGE/ALADIN (résolution de 10 km à 300 km) utilisés pour les prévisions à court terme, permet de mieux appréhender les interactions entre la surface terrestre (notamment sa topographie) et l'atmosphère.

De nombreuses données d'entrées de Meso NH sont nécessaires pour appréhender les conditions de la surface terrestre : le relief ; le type de végétation ; la teneur en argile et en sable ; la teneur en eau dans le sol à partir d'une *chaîne* faisant appel à trois modèles, soient SAFRAN pour calculer les échanges de surface (avec précipitations), ISBA [Noilhan et Planton, 1989] et MODCOU modèle de nappe. Les résolutions spatiales de ces entrées du modèle varient de 1 à 10 km. Enfin, les conditions atmosphériques initiales et latérales<sup>6</sup> sont définies à partir des sorties du modèle météorologique ALADIN (résolution : 12 km).

La mise en œuvre de ce modèle étant assez lourde, logistiquement et financièrement, cette simulation n'a été réalisée, pour l'instant, que pour la nuit du 16 au 17 mars 2003. Par contre, l'information disponible est riche : plusieurs domaines de simulations, divers paramètres météorologiques disponibles, à différents pas de temps et à plusieurs hauteurs de la surface terrestre pour appréhender la dimension verticale<sup>7</sup>.

## 2. LA NUIT RADIATIVE ET FROIDE DU 16 AU 17 MARS 2003

Dans la nuit du 16 au 17 mars, la France est sous l'influence d'un vaste anticyclone centré sur le nord de l'Europe, qui dirige sur le nord du pays un flux de nord-est, très sec. Cette zone de hautes pressions se retrouve en altitude avec la présence d'un haut géopotential sur les îles Britanniques. Le ciel dégagé et le vent faible conduit à un fort refroidissement nocturne, les conditions sont *radiatives*. Pour la station synoptique Reims-Courcy, la température minimale mesurée est de -3°C et le vent nocturne faible de secteur nord-est. Dans le vignoble marnais, les températures minimales, relevées à partir d'un réseau relativement dense de 23 stations météorologiques, sont froides et caractérisées par une très forte variabilité spatiale liée à des conditions atmosphériques stables.

## 3. SIMULATION DU CHAMP DE VENT A 2 M

La Figure 1 illustre l'évolution du champ de vent simulé (à 2 m) au cours de la nuit (de 18 à 9h UTC). Nous constatons des différences importantes dans le temps et dans l'espace. Dans le temps, il apparaît que le champ de vent se complexifie au cours de la nuit. Ainsi, même si la vitesse du vent maximal décroît jusqu'à 6h, cette diminution est plus ou moins

<sup>5</sup> Le qualificatif *non hydrostatique* s'oppose à l'hypothèse hydrostatique selon laquelle le volume et la masse d'une *particule* d'air n'évoluent pas au cours du temps. Dans le modèle Meso NH, seule la masse des particules d'air est rigoureusement constante. L'abandon de l'hypothèse hydrostatique permet de mieux appréhender l'influence du relief.

<sup>6</sup> Les conditions initiales de la simulation Meso NH sont l'analyse ALADIN de 12h UTC le 16 mars 2003. Le pas de temps retenu est de 3h, excepté au cœur de la nuit, période qui nous intéresse, avec une résolution temporelle horaire. La fin de la simulation se situe le 17 mars à 9h.

<sup>7</sup> La dimension verticale est appréhendée selon 60 niveaux, de plus en plus fins vers la surface. Les basses couches atmosphériques, entre la surface et une altitude de 1 000 m, où se produisent les phénomènes qui nous intéressent, sont ainsi subdivisées en 16 niveaux dans la simulation.

accentuée pour certains secteurs, avec une nette opposition entre les plaines et les zones abritées du vent (vallons). Par ailleurs, la variabilité spatiale des directions du vent en fin de nuit (6h), pour chaque point de la grille représenté, est bien plus grande qu'en début (18h) et surtout qu'après le lever du soleil (9h).

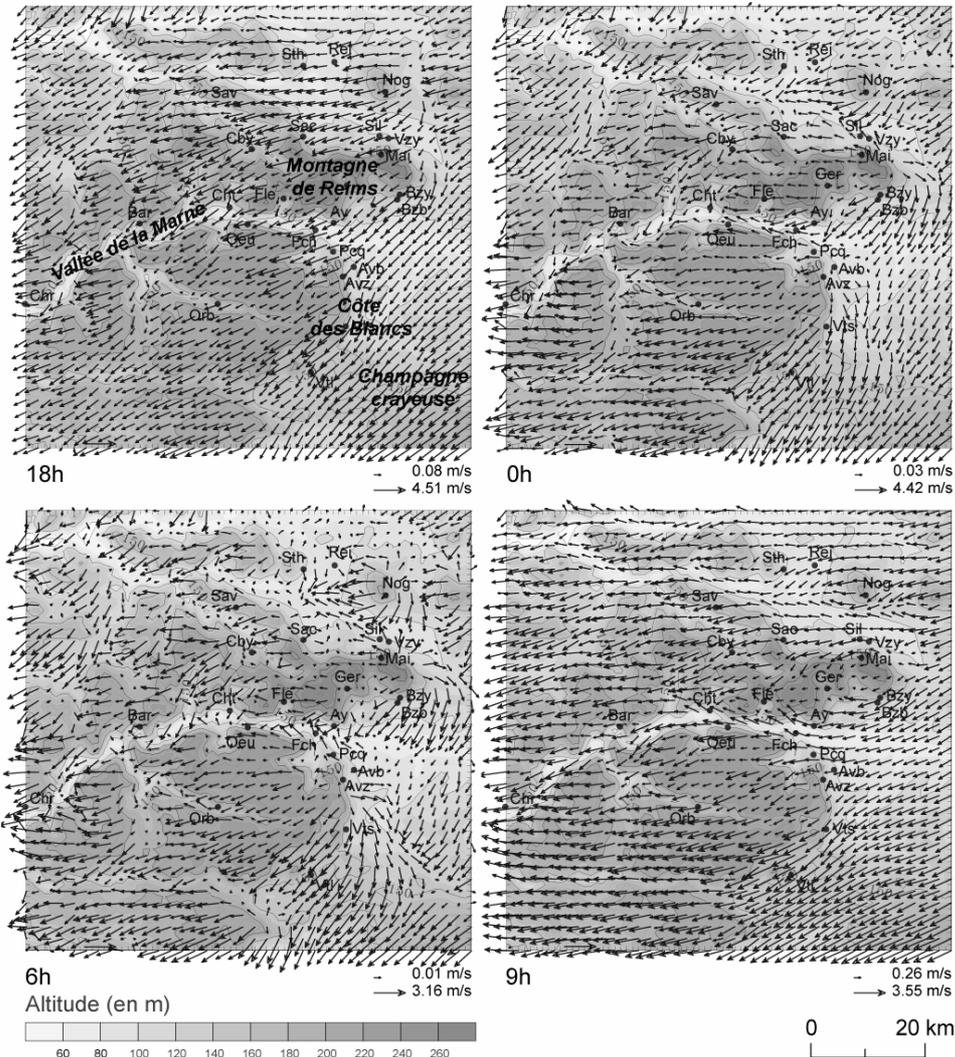


Figure 1: Simulation du champ de vent à 2 m de la surface, au cours de la nuit du 16 au 17 mars 2003 (18, 0, 6 et 9h UTC)  
Données : MESO NH - Météo France, résolution 1 km

Dans l'espace, le champ de vent est clairement perturbé par la topographie. Le vent tend ainsi à contourner les obstacles, telle la Montagne de Reims, et à être canalisé en partie par les vallées. Lorsqu'il arrive sur un relief, il a tendance à le contourner et de ce fait s'accélère : ce point est particulièrement remarquable le long de la Côte des Blancs, ainsi qu'à 9h au nord-est de la Montagne de Reims et pour la butte de Nogent-l'Abesse (Nog). À l'inverse, les zones sous le vent, en particulier les vallées secondaires perpendiculaires à la Vallée de la Marne et à la direction du vent général, sont caractérisées par des vents très faibles et, *a priori*, par des accumulations d'air froid ou une turbulence plus marquée.

Enfin, nous remarquons très nettement le développement de brises de pente au cours de la nuit, qui viennent perturber le faible flux d'est. Pour simplifier, nous distinguons trois comportements-types selon l'orientation de la pente et du vent général :

- directions différentes : les brises de pente perturbent légèrement le flux général (vallée de la Marne) ;
- même direction, même sens : ces brises s'ajoutent au vent général (par exemple, à 6h, au nord-ouest de Châtillon-sur-Marne Cht) ;
- même direction, sens opposé : les deux écoulements convergent vers le bas du coteau où la vitesse simulée apparaît *quasi* nulle (par exemple, au nord-est de la Montagne de Reims et au nord de la Côte des Blancs).

Ce dernier cas d'interaction entre topographie et vent est particulièrement intéressant puisqu'il favorise le blocage de l'air froid accumulé en bas de coteau (observations sur le terrain par I. Sarmir [1995]).

## Conclusion

En somme, les simulations du modèle Meso NH montrent une influence très nette de la topographie sur le vent de vitesse faible dans les très basses couches. La mise en place des brises de pente nocturnes est ainsi bien décrite par la simulation. L'accumulation de cet air froid étant potentiellement dangereux pour la vigne, il sera intéressant d'étudier plus en détail le lien entre ces brises et les températures, grâce à d'autres sorties du modèle.

Par ailleurs, afin de valider les simulations de Meso NH, nous avons comparé les sorties aux données mesurées par les stations météorologiques. Même si les directions de vent sont souvent assez similaires, les vitesses simulées sont, à de rares exceptions près, plus fortes que les vitesses mesurées.

## Bibliographie

BELTRANDO G., 1998. 'Températures minimales du printemps en Champagne viticole : quelques résultats à partir d'un nouveau réseau de stations automatiques', *La Météorologie*, vol. 8, no. 21, pp. 30-44.

BRIDIER S., QUENOL H. et BELTRANDO G., 2004. 'Cartographie du potentiel de refroidissement en situation radiative : application aux terroirs des Fonds de Sillery dans le vignoble de Champagne', *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 14, no. 1, pp. 119-132.

LAFORE J.-P., STEIN J., ASENSIO N., BOUGEAULT P., DUCROCQ V., DURON J., FISCHER C., HÉREIL P., MASCART P., MASSON V., PINTY J.-P., REDELSPERGER J.-L., RICHARD E. et VILÀ-GUERAU DE ARELLANO J., 1998. 'The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: adiabatic formulation and control simulations', *Annales geophysicae*, vol. 16, pp. 90-109.

Pour plus de détails : [<http://www.aero.obs-mip.fr/mesonh/>]

MADELIN M., 2004. *L'aléa gélif printanier dans le vignoble marnais en Champagne. Modélisation spatiale à une échelle fine des écoulements de l'air et des températures minimales*, Thèse de doctorat, Université Paris 7, 347 p. + Annexes.

[[http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/00/89/06/index\\_fr.html](http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/00/89/06/index_fr.html)]

NOILHAN J. et PLANTON S., 1989. 'A simple parameterization of land surface processes for meteorological models', *Monthly Weather Review*, vol. 117, pp. 536-549.

SARMIR I., 1995. *Variabilité spatio-temporelle des températures minimales et dégâts du gel printanier dans le vignoble champenois*, Thèse de doctorat de Géographie, Université Denis Diderot (Paris 7), 285 p.

## TEMPÉRATURES EXTRÊMES ABSOLUES EN ROUMANIE

F. MOLDOVAN<sup>1</sup>, A.E. CROITORU<sup>2</sup>, E. E. HAUER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université Babes-Bolyai, Faculté de Géographie, 5-7, Rue Clinicilor, Cluj-Napoca, 400006, Roumanie, moldovan@geografie.ubbcluj.ro

<sup>2</sup> Université Babes-Bolyai, Faculté de Géographie, 5-7, Rue Clinicilor, Cluj-Napoca, 400006, Roumanie, croitoru@geografie.ubbcluj.ro

<sup>3</sup> Centre Météorologique Régional Banat-Crișana, 15, Rue Gheorghe Adam, Timișoara, 300310, Roumanie, elzah71@yahoo.com

### Résumé

Cette étude porte sur l'analyse de la distribution temporelle et spatiale des températures maximales absolues et des températures minimales absolues recueillies dans 55 stations météorologiques de Roumanie, au cours de la période 1884-2004. Les conclusions principales de l'étude confirment la théorie du réchauffement climatique global: la plus grande fréquence des températures maximales absolues a été enregistrée pendant la dernière partie du XX<sup>ème</sup> siècle, surtout en 2000, tandis que les températures minimales absolues ont connu la fréquence la plus importante entre 1929-1963.

**Mots-clés:** température maximale absolue, température minimale absolue, Roumanie

### Abstract

In this study, the spatial and temporal distribution of absolute maximum and minimum temperatures is analyzed. They were recorded in 55 weather stations from Romania for the period 1884-2004. Main conclusions of this work confirm the theory of global warming: the highest frequency of the absolute maximum temperatures is specific to the last part of XX<sup>th</sup> century, especially during the year 2000. The absolute minimum temperatures had highest frequency between 1929-1963.

**Key-words:** absolute maximum temperature, absolute minimum temperature, Romania.

### Introduction

Dans le contexte général des modifications climatiques dans lequel le phénomène de réchauffement global joue un rôle très important, l'étude des températures extrêmes devient l'une des étapes essentielles pour la détermination de la variabilité climatique.

Sur le territoire de la Roumanie, quelques analyses des températures extrêmes ont déjà été réalisées tant au niveau national (Tomozeiu et al., 2002), que sur des régions plus restreintes (Hauer et al., 2003, Moldovan et al., 2004) et leurs conclusions ont concerné surtout les moyennes des températures minimales et maximales.

Le but principal de cette étude est l'identification de la distribution temporelle et spatiale des températures maximales absolues et minimales absolues sur le territoire de la Roumanie, aussi bien que l'analyse des conditions synoptiques dans lesquelles celles-ci se sont produites.

### 1. Sources de données et Méthodologie

Pour l'évaluation de la distribution temporelle et spatiale, on a utilisé les données statistiques collectées dans 55 stations météorologiques réparties sur l'ensemble du territoire de la Roumanie, sur la période comprise entre 1884-2004 et provenant de l'Archive Nationale de Météorologie, de Bucarest.

On mentionne que les températures minimales et maximales absolues à l'échelle nationale n'ont pas été prises en compte dans cette étude, parce que les stations où elles ont été enregistrées ont eu une trop courte période de fonctionnement et leur validation est parfois mise en doute.

Pour l'analyse des situations synoptiques, on a utilisé les cartes de réanalyse de l'archive électronique du Centre Météorologique de Karlsruhe, en Allemagne.

A partir des données existantes, on a analysé la répartition temporelle et spatiale des valeurs extrêmes de la température de l'air et les situations synoptiques les plus caractéristiques dans lesquelles elles se sont produites.

Les 55 stations météorologiques ont été choisies en fonction de leur répartition, voulue uniforme, sur le territoire de la Roumanie et de leur période, la plus longue possible, d'enregistrement de données. Les stations ont été regroupées selon leur position géographique et les provinces historiques du pays: Ouest – Banat – Crişana : 6 stations; Nord – Maramureş : 2 stations; Centre – Transylvanie : 8 stations; Est – Moldavie : 6 stations; Sud – Olténia et Munténia : 11 stations; Sud-Est – Dobrodja : 3 stations. S'y ajoutent les stations de la zone de montagne: celles situées dans les dépressions intracarpatiques (9) et celles d'altitude (10).

## 2. Résultats

### 2.1. L'analyse des températures maximales absolues

Les températures maximales absolues ont varié entre 43.0°C à Bechet, au bord du Danube, dans le sud de la Roumanie, et 22.1°C sur le sommet Omu, à 2505 m d'altitude. On peut remarquer le fait que, pour la plupart de stations, les températures maximales absolues ont eu des valeurs comprises entre 30.1°C et 40.0°C (tableau 1). Si les valeurs dépassent 40.0°C, elles sont caractéristiques, en général, pour le sud et l'ouest du pays, pendant que les températures situées en dessous de 30.0°C ont été enregistrées dans les stations de plus haute altitude.

*Figure. 1. Répartition chronologique de l'occurrence des températures maximales absolues en Roumanie*

Tableau 1. Répartition des températures maximales absolues selon les intervalles de valeur

| Groupe | Température maximale (°C) | Enregistrements |
|--------|---------------------------|-----------------|
| 1.     | <30.1                     | 10              |
| 2.     | 30.1-40.0                 | 29              |
| 3.     | > 40.0                    | 16              |

Les températures maximales absolues se produisent au cours de mois de juin à septembre, avec en juillet (54.5 %) et en août (40.1 %) des cas.

Chronologiquement, les températures maximales absolues ont été, en totalité, enregistrées au cours du siècle passé, dont la moitié dans la dernière décennie du XX<sup>ème</sup> siècle (24 années représentant 43.6 % du total analysé). Qui plus est, au cours de l'année 2000, on a enregistré les températures maximales absolues dans 21 des stations météorologiques. Dans les stations situées au-delà de 1000 m d'altitude, les températures maximales absolues se sont produites pendant les deux dernières décennies du siècle passé. Tout cela vient confirmer la tendance de réchauffement climatique global (figure 1).

La situation synoptique qui a favorisé l'occurrence des températures maximales absolues dans les 21 stations météorologiques, au cours de l'année 2000, a été caractérisée par l'extension au niveau de la surface isobare de 500 hPa, d'une dorsale provenant du nord de l'Afrique sur le sud, le centre et le sud-est du continent européen en même temps qu'un champ de basse pression atmosphérique s'étendait, au niveau de la mer, sur toute l'Europe.

## 2.2. L'analyse des températures minimales absolues

Les températures minimales absolues se produisent en Roumanie, aux cours des mois de janvier (72.7%) et février (23.3 %). La plus basse température (-38.0°C) a été enregistrée à Joseni, dans une dépression intramontagneuse des Carpates Orientales, considérée comme étant le « pôle du froid » en Roumanie, et sur le sommet Omu, dans les Alpes de la Transylvanie, station météorologique située à la plus haute altitude de Carpates Roumaines (2505 m). Les températures minimales absolues les plus élevées ont été enregistrées à proximité du bord de la Mer Noire, à Medgidia (-21.0 °C). On peut observer que, dans la plupart des stations, les températures minimales absolues ont eu des valeurs en dessous de -30.0°C (tableau 2). Ces valeurs son observées surtout sur le nord et le centre du

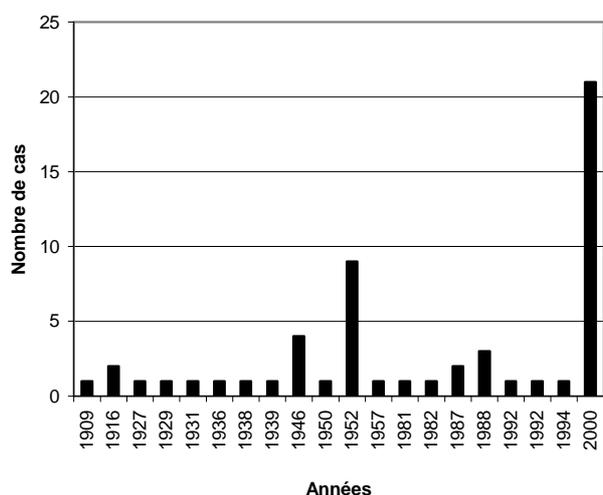


Fig. 2. Répartition chronologique de l'occurrence

des températures minimales absolues en Roumanie

Tableau 2. Répartition des températures minimales absolues selon les intervalles de valeur

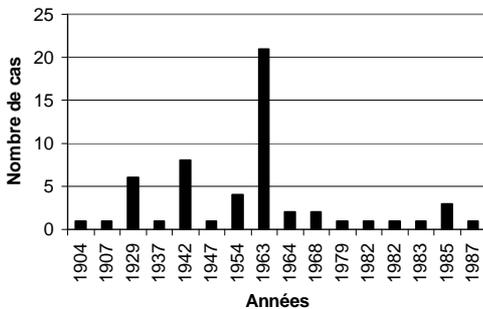
| Groupe | Température minimale (°C) | Enregistrements |
|--------|---------------------------|-----------------|
| 1.     | <-30.0                    | 30              |
| 2.     | > -30.1                   | 25              |

L'analyse chronologique met en évidence le fait que les températures minimales absolues se sont produites, surtout entre 1929-1963, période où l'on a enregistré les températures minimales absolues dans les 74.5 % des stations météorologique analysées. On pointera les années 1963 (21 cas), 1942 (8 cas) et 1929 (6 cas) (figure 2).

Au point de vue synoptique, la carte de la pression atmosphérique à l'échelle de l'Europe, en janvier 1963, a été caractérisée, en altitude, par l'extension d'un champ froid depuis les mers polaires vers le centre et le sud-est de l'Europe, ayant un noyau situé au Nord de la Mer Noire. En même moment, au niveau de la mer, un centre anticyclonique ayant une pression supérieure à 1035 hPa, était localisé sur la Roumanie.

## Conclusions

Les résultats de l'analyse des températures extrêmes recueillies dans 55 stations météorologiques de Roumanie représentent des arguments forts pour la théorie du réchauffement global. La fréquence la plus importante des températures maximales absolues a été enregistrée pendant la dernière partie du XX<sup>ème</sup> siècle, en 2000 surtout, tandis que les températures minimales absolues ont été les plus fréquentes entre 1929-1963.



## Bibliographie

HAUER, E., CROITORU, A.-E., PAVAI, C. (2003), Tendințele și anomaliile extremelor termice și pluviometrice în regiunea de nord-vest a României, în Riscuri și catastrofe, Editor Victor Sorocovschi, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2003, p. 85-95.

MOLDOVAN, F., PAVAI, C., HAUER, E. (2004), The evolution of extreme monthles temperatures in the north-western part of Romania between 1961-2002, Geography Within the Context of Contemporary Development 2001-2003, Cluj-Napoca, p. 47-55.

the Context of Contemporary Development 2001-2003, Cluj-Napoca, p. 47-55.

TOMOZEIU, R., BUSUIOC, A., ȘTEFAN, S. (2002), Changes in Seasonal Mean Maximum Air Temperature in Romania and their connection with Large-Scale Circulation, Int. J. Climatol, 22: 1181-1196.

## PHENOMENES DE CONDENSATION ET SOURCES PERENNES DANS LE PROMONTOIRE DE PORTOFINO (ITALIE)

**F. FACCINI, P. BRANDOLINI**

*DISAM, Université de Gênes (I), via Balbi 2, [brando@unige.it](mailto:brando@unige.it)*

**E. BONINO**

*Keyobs s.a, rue des Chasseurs Ardennais 4, Angleur (B) – [ebonino@keyobs.com](mailto:ebonino@keyobs.com)*

**M. PICCAZZO**

*DipTeRis, Université de Gênes (I), c.so Europa 26, [piccazzo@dipteris.unige.it](mailto:piccazzo@dipteris.unige.it)*

**F. OLIVARI, A. ROBBIANO**

*Géologue, Gênes (I), [geotecam@libero.it](mailto:geotecam@libero.it)*

### Résumé

Le promontoire de Portofino, présentant une exposition marquée vers le sud et un climat typiquement méditerranéen est caractérisé par de nombreuses sources d'eau, encore aujourd'hui utilisées comme points de ressourcement par les randonneurs. Plusieurs de ces sources se trouvent à proximité du sommet. L'alimentation de ces émergences hydriques a comme origine des phénomènes de condensation typiquement estivaux, causés par la différence de température entre l'air saturé en vapeur d'eau et celle que l'on mesure entre les fractures des amas rocheux.

**Mots-clés:** Climatologie, Condensation, Bilan hydrologique, Sources, Portofino

### Abstract

Portofino's Promontory, presenting an evident exposure to the south and a mediterranean climate, is characterized by a great number of springs, many of which near to the drainage divide, utilized for hikers and tourists. The supply of this springs is due to condensation phenomena (hidden precipitations), especially in the summer period when there's a difference between air temperature, saturated of water, and average temperature of rock mass.

**Key-words:** Climatology, Condensation, Water balance, Springs, Portofino

### Introduction

Dans cette publication sont illustrées des considérations ayant un caractère météo-hydrologique relatif aux nombreuses sources d'eau à régime annuel présentes sur le promontoire de Portofino, avec une référence particulière à celles que l'on trouve en correspondance du Conglomérat (Ristori, 1901). Sur base des observations conduites il est possible de proposer un bilan hydrologique spécifique du territoire qui tienne compte des phénomènes de condensation alimentant une grande partie des sources étudiées.

### 1. Situation géographique, environnementale et météo-climatique.

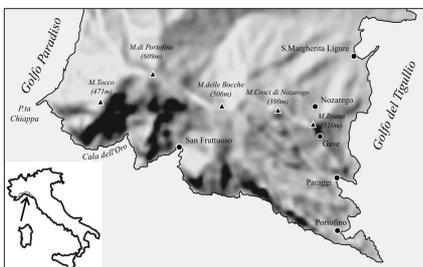


Fig. 1 – Schéma géographique du Promontoire de Portofino

Le Promontoire de Portofino, positionné à 25 km à l'Est de la ville de Gênes, interrompt la continuité de la ligne de côte entre Gênes et Sestri Levante; il a une forme semblable à un trapèze et est caractérisé par une abrupte élévation orographique caractérisée par une dorsale orientée NO-SE, formée par l'alignement des reliefs du M. Tocco (471 m), du M. di

Portofino (609 m), du M. delle Rocche (506 m), du M. Croci di Nozarego (390 m) et du M. Brano (310 m) (Fig.1).

La partie frontale du Promontoire, exposée vers le SSO, et la partie occidentale présentent des versants très inclinés, parfois sub-verticaux ; en particulier des falaises, exposées aux vents du Libeccio et du Sirocco, se prolongeant dans la mer, qui à quelques mètres de la ligne de côte, descendent à des profondeurs très élevées (Brandolini et al., 2005a).

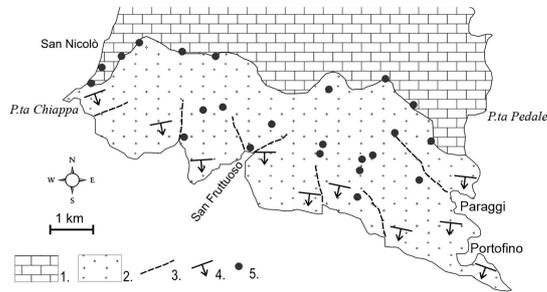


Fig. 2 – Schéma géologique et hydro-structural du Promontoire de Portofino. L'égende: 1. Flysch de M. Antola (perméabilité par fracturation); 2. Conglomérat de Portofino (perméabilité par fracturation et par porosité primaire); 3. Failles; 4. Direction de stratification; 5. Source d'eau.

En raison de la perméabilité par fissuration du Conglomérat, le réseau hydrographique dans la zone méridionale du Promontoire est caractérisé par des cours d'eau du 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> ordre, organisé tout au long des lignes de fracture qui se retrouvent sèches pendant une grande partie de l'année (Cevasco et al., 2004).

Le climat est de type méditerranéen, avec des étés chauds et secs, des hivers doux, et de longues périodes d'insolation. Cependant, des microclimats très différenciés sont présents localement, à cause des fortes variations d'altitude, de l'exposition, de l'humidité de l'air et de la couverture végétale.

Le maximum pluviométrique est relevé pendant les mois d'automne et le minimum en été (Fig. 3): la quantité de précipitation moyenne annuelle varie entre 900 mm et 1300 mm en fonction des caractéristiques orographiques du territoire, comme relevé par les stations météo de Nozarego, Semaforo Nuovo, S. Margherita, Camogli et San Rocco (Fig. 4 et Fig. 5) (Brandolini et al., 2005b); la température annuelle

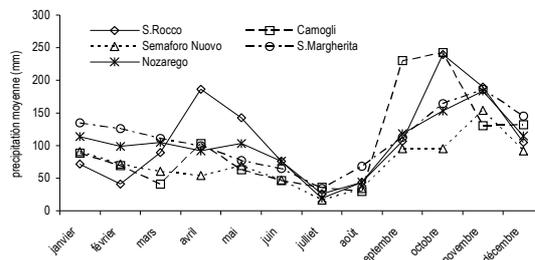


Fig. 3 – Comportement pluviométrique moyen mensuel des stations examinées (périodes 1926-1943; 1950-1978; 1980-1999).

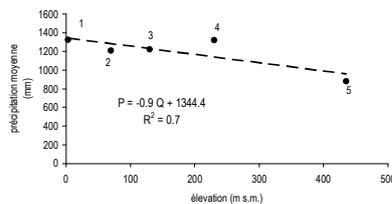


Fig. 4 – Pluviométrie moyenne annuelle et altitude des stations examinées: 1. S. Margherita; 2. Camogli; 3. Nozarego; 4. San Rocco; 5. Semaforo Nuovo.

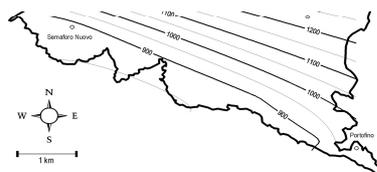


Fig. 5 – Carte des isohyètes sur le versant méridional du Promontoire, avec indication des stations.

Le contre-fort élané vers la mer est modelé dans le Conglomérat de l'Oligocène (Fig.2), avec une épaisseur d'au moins 450 m (Giammarino et al., 1969); le massif structural monoclinale est caractérisé par une stratification de direction SSO (secteur oriental) et SE (secteur occidental), avec une inclinaison inférieure à 20°. A cause de la pente remarquable des versants et de la

moyenne est de 12° à 13°C, avec un maximum estival de 23° à 24°C et un minimum hivernal de 7° à 8°C.

## 2. Caractéristiques des sources d'eau.

Sur le territoire concerné, plus d'une vingtaine de sources ont été recensées, dont les positions géographiques sont reconstituables selon deux

locations différentes : la première est facilement reconnaissable tout le long du contact géologique entre le Conglomérat et le Flysch du Monte Antola sous-jacent, qui affleure plus vers le nord ; et la deuxième localisation est caractérisée par la présence des sources le long du versant méridional, dans le Conglomérat même, avec une localisation parfois assez élevée et à proximité de la ligne de partage des eaux.

Toutes les sources recensées ont un débit variable entre 0.5-1 l/min (sources Coppelli, Scogli Grossi, Paraggi), jusqu'à des valeurs entre 5 et 20 l/min (sources Acqua viva, Gallina, Madonna di Nozarego et Molino del

Molo), avec des variations pas trop marquées au cours de l'année, et donc à considérer comme annuelles.

Certaines de ces sources, spécialement celles du côté sud du Promontoire, montrent des débits très faibles pendant la période estivale, et notamment durant la période sèche, tout en alimentant des aqueducs historiques comme celui de Portofino (source dei Coppelli) ou de Camogli (sources Caselle, Brandolini et al., 2004).

La température de l'eau de source est généralement constante pendant toute l'année, et présente des valeurs comprises entre 12 et 14°C.

Tous les sources sont classées selon une limite de perméabilité mal définie (Civita, 1972), qui correspond à une zone de l'aquifère plus ou moins épaisse et irrégulière, marquée par le passage entre une zone supérieure perméable et une zone sous-jacente à perméabilité réduite à cause d'une variation lithologique (sources du versant N) ou par la réduction des fractures en profondeur (sources du versant S).

## Conclusion

Sur la base des études effectuées et en tenant particulièrement compte de la faible contribution des averses durant les périodes estivales, du régime annuel des sources, de l'altitude, il est possible d'affirmer qu'un rôle non négligeable dans l'alimentation hydrique du massif de Portofino, est celui des eaux de condensation (*précipitations occultes*). En effet, les masses d'air venant du S, chaudes et chargées en vapeur d'eau, suite à leur trajectoire en mer, remontent le long de la falaise du Promontoire et la baisse de température de l'air consécutive provoque la condensation de l'eau dans les fissures rocheuses. La quantité d'eau qui se transforme d'un état gazeux en état liquide est évidemment liée aux conditions thermométriques en fonction de la courbe de rosée (Fig. 6). Le phénomène est autant plus

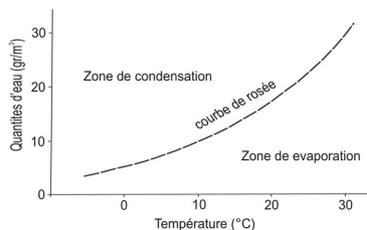


Fig. 6 – Courbe de rosée

important si on tient compte des millions de mètres cube d'air qui chaque jour traversent les fractures du Conglomérat, et que 1 m<sup>3</sup> d'air à 25°C avec 75% d'humidité relative peut déposer jusqu'à 5gr d'eau quand il est en contact avec les parois et les fractures dont la température est comprise entre 10° et 15°C.

Si on considère que la portion méridionale du Promontoire, entre Punta Chiappa et Punta Portofino, présente une surface supérieure à 3 millions de m<sup>2</sup>, il est

possible que plusieurs milliers de litres d'eau se forment par jour par condensation ; ce phénomène aura un plus grand effet durant la période estivale, à cause d'une plus grande différence thermique entre l'air et les fissures du Conglomérat.

Cet apport hydrique total peut être important, vu que certaines sources présentent des débits faibles à proximité de la ligne de partage des eaux ou à la base du massif de conglomérat où on observe de faibles précipitations.



Fig. 7 – Versant Ouest de la baie de S.Fruttuoso.

Le régime annuel régulier des sources a mené à leur exploitation déjà ancienne par l'homme. Encore aujourd'hui, elles sont utilisées comme points de rafraîchissement par les randonneurs.

Si on considère les faibles flux superficiels et que dans le climat méditerranéen le processus d'évapotranspiration peut soustraire de grandes quantités d'eau, le bilan hydrologique du territoire peut être exprimé d'une façon plus simple par la relation :

$$Q = I + C,$$

où Q correspond au flux mesuré au droit des sources,  $I = (P - E)$  est l'infiltration efficace, c'est à dire les précipitations directes P moins la contribution de l'évapotranspiration E, et C est l'apport des condensations occultes, qui garantiront une recharge d'eau continue grâce au cycle de contraste thermique quotidien.

### Bibliographie

- BRANDOLINI P., FACCINI F., OLIVARI F., ROBBIANO A. (2004) – Geoturismo e cavità artificiali lungo il tracciato dell'acquedotto delle Caselle (Parco di Portofino). Atti del 2° Conv. Geologia e Turismo "Opportunità nell'economia del paesaggio", Bologna 3-4 nov 2004
- BRANDOLINI P., FACCINI F., PICCAZZO M., OLIVARI F., ROBBIANO A., CANEPA G. (2005a) – Un esempio di cartografia geologico-ambientale nel Parco di Portofino (Liguria). Atti del Conv. "Montagne e Pianure" in onore del prof. G.B. Castiglioni, Padova 15-17 feb 2005
- BRANDOLINI P., FACCINI F., PICCAZZO M., OLIVARI F. (2005b) – Geomorphological hazards in coastal tourist areas: the case of Portofino Park (Italy). Geophysical Research Abstract, Vol. 7, 05180, 2005
- CEVASCO A., FACCINI F., NOSENGO S., OLIVARI F., ROBBIANO A. (2004) - Valutazioni sull'uso delle classificazioni geomeccaniche nell'analisi della stabilità dei versanti rocciosi: il caso del Promontorio di Portofino (Provincia di Genova). GEAM, 111, 31-38
- CIVITA M. (1972) – Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 12
- GIAMMARINO S., NOSENGO S., VANNUCCI G. (1969) – Risultanze geologiche-paleontologiche sul Conglomerato di Portofino (Liguria Orientale). Atti Ist. Geol. Univ. Genova, 7, 305-363
- RISTORI G. (1901) – Il Conglomerato miocenico e il regime sotterraneo delle acque nel Promontorio e Monte di Portofino. Atti Univ. di Pisa, 49-67

### Remerciements

Ce travail à été développé dans le projet Miur-Cofin 2004 "Le patrimoine géomorphologique comme ressource pour un tourisme durable", Coordinateur national Prof. M. Panizza, Responsable de l'Unité de l'Université de Gênes Prof. M. Piccazzo.

## RÉGIONALISATION DE MODÈLES AGROMÉTÉOROLOGIQUES DE PHYTOPROTECTION

A.VIAU

Laboratoire de géomatique agricole et appliquée (GAAP), Département des sciences géomatiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec Canada, G1K 7P4 Tel: 418-656-2072 Fax: 418-656-5837, [alain.viau@scg.ulaval.ca](mailto:alain.viau@scg.ulaval.ca)

K. CHOKMANI

Chercheur postdoctoral Institut National de la Recherche Scientifique-ETE, C.P. 7500, Québec (Québec) G1V 4C7, Canada. Tel. 418-654-2570. Fax 18-654-2600, [Karem.chokmani@ete.inrs.ca](mailto:Karem.chokmani@ete.inrs.ca)

### Résumé

Actuellement, les modèles prévisionnels de protection des cultures utilisent les données météorologiques observées aux stations pour produire des indices d'infection et de développement des ennemis des cultures. Les indices sont par la suite extrapolés au niveau régional en supposant que les conditions météorologiques prévalant aux stations sont similaires à celles des champs avoisinants dans la région, ce qui n'est pas nécessairement le cas. Par conséquent, la qualité des recommandations et diagnostiques qui découlent de l'usage des modèles informatisés en phytoprotection est grandement affectée. La régionalisation des sorties des modèles, entre les stations du réseau météorologique, utilisant des techniques géostatistiques tel que le cokrigage à l'aide des données satellitaires et météorologiques, représente un moyen intéressant pour combler ce besoin.

### Introduction

Le système CIPRA (Centre Informatique de Prédiction de Ravageurs en Agriculture) mis au point par Bourgeois *et al.* (1994-1998) et exploité sur une base opérationnelle par la compagnie Prisme ([www.prisme.ca](http://www.prisme.ca)) est un regroupement de plusieurs modèles prévisionnels dans une infrastructure informatique commune du nom de DataTrace. Ces modèles exploitent les relations stochastiques entre le ravageur et les conditions climatiques du milieu pour produire des indices de développement du ravageur. Ils sont d'utilisation facile du fait qu'ils ne requièrent que des données météorologiques standard. Avec l'établissement d'un réseau central informatisé par le Service de l'Environnement Atmosphérique d'Environnement Canada, donnant accès aux données météorologiques de plusieurs stations automatiques, CIPRA est devenu un des premiers systèmes opérationnels de support à la décision en protection des cultures au Canada. (Bourgeois et Carisse, 1996; Chouinard *et al.*, 1996).

L'objectif principal de la présente étude est de développer et d'appliquer une méthodologie de régionalisation des indices de risque phytosanitaire et agrométéorologique à l'aide des données météorologiques, des données de télédétection satellitaire et aéroportée en plus des outils géostatistiques, dans le but d'en créer un outil de support à la décision en phytoprotection des cultures à l'échelle régionale. Cette approche contribuera à augmenter nos capacités de gestion et de prévision des ravageurs des cultures et du même coup à optimiser l'usage des produits phytosanitaires dans les cultures maraîchères au Québec.

### 1. Méthodes et Matériel

Une analyse préalable de sensibilité de modèles de phytoprotection à l'égard des fluctuations dans leurs variables d'entrée a permis d'identifier les variables les plus significatives pour leur fonctionnement (Chokmani *et al.*, 2005). Les modèles de la brûlure cercosporéenne des

feuilles de l'oignon et deux modèles d'insectes (pyrale et charançon) ont été considérés. La région à l'étude se situe à l'extrémité sud-ouest du Québec (entre 72°-75° Ouest et 45° et 46°30' Nord).

Les images utilisées proviennent des satellites NOAA. Elles nous ont été fournies par le Service de l'environnement Atmosphérique d'Environnement Canada à Downsview en Ontario. Pour les besoins de l'étude, seules deux images par jour ont été prises en compte : celles du matin et du début d'après-midi. D'une part, la température calculée à partir des images prises dans le début de l'avant de l'après-midi représente une bonne estimation de la température maximale journalière. D'autre part, les périodes de forte humidité, par conséquent propices aux épisodes d'infections par les maladies fongiques, ont lieu tôt le matin ou à la tombée de la nuit. Les données de 50 stations météorologiques automatiques, appartenant à la région d'étude, ont servi au calage et à la validation des algorithmes d'estimation des variables environnementales (température et humidité).

Vu ses bonnes performances rapportées dans la littérature (Prince *et al.*, 1998), l'algorithme Split-Window de Becker et Li (1990) a été utilisé, dans la présente étude, pour le calcul de la TS. Cette dernière intervient dans l'estimation de la température et l'humidité de l'air à partir des images NOAA-AVHRR. La relation empirique log-linéaire entre NDVI et l'émissivité dans le canal 4 de AVHRR et la différence d'émissivité entre les canaux 4 et 5, développée par Cihlar *et al.* (1997), a été utilisée pour l'estimation des émissivités spectrales. Un modèle empirique reliant l'eau précipitable observée au niveau des stations météorologique(W) à  $\Delta T$  (différence entre T4 et T5) et TS a été développé :

$$W = \left[ 126,58 \cdot \left( \frac{\Delta T - 0,28}{TS - 289} \right) \right] + 0,23 \quad 1$$

L'eau précipitable observée aux stations a été calculée à partir des observations de l'humidité relative à l'aide de la relation log-linéaire développée par Reitan (1963) et adaptée à la station de Maniwaki (46,4°N, 75,9°W) par Choudhury (1996). 14 stations, choisies au hasard, ont servi pour le développement du modèle (équation 1). Les données des deux stations restantes ont été utilisées pour le valider. L'eau précipitable a été calculée pour l'ensemble des images en utilisant ce modèle. Deux masques de nuages supplémentaires impliquant l'eau précipitable ont été appliqués aux images pour éliminer les nuages résiduels. Le premier consiste à éliminer les pixels dont la valeur de W est égale ou supérieure à 25 mm. Le deuxième revient rejeter les pixels dont les valeurs de  $\Delta T$  et TS sont hors du domaine de définition de l'équation 1 (valeurs négatives ou aberrantes de W ou à une division par zéro).

Une approche spatiale ou « contextuelle » (Goward *et al.*, 1994) a été utilisée pour estimer la température de l'air proche de la surface à partir des données NOAA-AVHRR et ce, en reliant TS à NDVI. Prihodko (1992) a montré que la température du couvert converge vers une seule valeur quand l'indice de végétation tend vers une valeur élevée, cette température est proche de celle de l'air. Une régression linéaire a été ajustée entre la température de surface et l'indice de végétation pour une fenêtre contextuelle de pixel. La température de l'air du pixel central de la fenêtre a été estimée en extrapolant la ligne de régression NDVI-TS à une valeur de NDVI (NDVImax) correspondant à un couvert végétal très dense. NDVImax a été fixé à 0,86. Cette opération a été réalisée pour l'ensemble des images à l'aide d'une fenêtre mobile 9x9 parcourant toute l'image. Les observations de température de l'air au niveau des 16 stations météorologiques ont servi pour valider les résultats de cette approche.

L'humidité relative satellitaire a été calculée à partir de la température de l'air et l'eau précipitable satellitaires grâce à la méthode Tetens (1930). Cette dernière a été, préalablement, transformée en température de point de rosée à l'aide de l'inverse de la relation proposée par Choudhury (1996).

## 2 Régionalisation des sorties des modèles prévisionnels

Il est question à ce niveau de régionaliser les sorties des modèles à l'aide des techniques géostatistiques et des variables satellitaires et en valider les résultats. Afin de vérifier la validité des résultats de la corégionalisation des sorties des modèles à l'aide des variables satellitaires, ces derniers ont été comparés à ceux obtenus par le krigeage ordinaire ainsi que deux méthodes simples d'interpolation simple à savoir la « distance inverse » et « le plus proche voisin ». Cette comparaison a été effectuée à l'aide de la validation croisée.

## 3. Résultats

La gamme de variation de W estimée à partir des données AVHRR est similaire à celle de W observée au niveau des deux stations de validation. La différence entre les moyennes des valeurs estimées et des valeurs observées est de  $-0,65$  mm. Ceci indique qu'en moyenne la méthode d'extraction satellitaire sous-estime légèrement les valeurs de W. La comparaison entre les valeurs de W satellitaire et W aux stations à l'aide d'une régression linéaire montre que les valeurs estimées et observées sont similaires. Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) de la régression est de 0,587 (une corrélation de l'ordre de 0,766). L'erreur standard générée par la méthode satellitaire d'estimation de l'eau précipitable a été de 3.11 mm. Les résultats de l'estimation de la température de l'air à l'aide de la méthode contextuelle sont généralement concordants avec les données de validation observées au niveau de l'ensemble des stations météorologiques. Pour toutes les stations et toutes les dates, la régression linéaire entre valeurs estimées et les valeurs observées explique environ 72% de la variance. De plus, la gamme de variation de la température estimée est similaire à celle observée. Cependant, la méthode contextuelle a tendance de sous-estimer la température de l'air d'environ  $2$  °C, en moyenne (différence entre les valeurs moyennes de la température estimée et la température mesurée aux stations). Cette tendance est confirmée par les résultats de la régression linéaire (0,853). Dans 80% des couples température estimée-observée utilisés dans la validation, la température estimée par méthode contextuelle est inférieure à celle mesurée par le réseau météorologique. Néanmoins, les écarts observés n'ont pas été très importants. Ils ont été inférieurs à  $5,8$  °C avec une valeur médiane de  $2,1$  °C. L'erreur standard dans l'estimation de la température de l'air par la méthode contextuelle a été de  $2,1$  °C.

## Conclusions

En dépit des erreurs dans leur estimation, les techniques d'estimation des conditions environnementales de la surface terrestre et de la basse atmosphère à partir des données de télédétection dans le visible et l'infrarouge sont très prometteuses. Malgré la différence d'échelle temporelle et spatiale entre les deux types de données, les variables environnementales ont été estimées avec une bonne corrélation avec celles mesurées au niveau des stations. Ces techniques permettent de tenir compte de la variabilité spatiale des variables environnementales et réduire les erreurs induites par la non-représentativité des observations locales. Une fois extrapolées en dehors des stations, les erreurs résultant de l'utilisation de ces observations sont souvent plus importantes. Par conséquent, la température et l'humidité de l'air estimées à partir des données de télédétection pourraient être utilisées dans l'élaboration de la méthodologie de régionalisation des indices de risque produits par les quatre modèles prévisionnels de phytoprotection, objet de la présente étude.

## Références

- BECKER, F., ET LI, Z.L., 1990, Towards a local split window method over land surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 11, 369-393.
- BOURGEOIS, G., ET CARISSE, O., 1996, Implantation et utilisation, en temps réel, de modèles prévisionnels d'infections phytopathogènes dans les cultures maraîchères et fruitières, Actes du colloque international sur la prévision et le dépistage des ennemis des cultures, Québec 10 au 13 octobre 1995, Canada, 121-125.
- CHOKMANI K., A.A. VIAU, G. BOURGEOIS 2005. Regionalization of output of two crop protection models using geostatistical tools and NOAA-AVHRR Images. *Agronomie* 25 , 1-14.
- Choudhury, B.J., 1996, Comparaison of models relating precipitable water to surface humidity using globally distributed radiosonde data over land surfaces, *International Journal of Climatology*, 16, 663-675.
- CIHLAR, J., LY, H., LI, Z.Q., CHEN, J., POKRANT, H., ET HUANG, F.T, 1997, Multitemporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies—artifacts and corrections, *Remote sensing of environment*, 60, 35-37.
- GOWARD, S.N., WARING, R.H., DYE, D.G., ET YANG, J., 1994, Ecological remote sensing at OTTER : satellite macroscale observations, *Ecological Applications*, 4, 322-343.
- PRIHODKO, L., 1992, Estimation of air temperature from remotely sensed observations, Thèse, University of Maryland, College Park, Maryland, USA.
- REITAN, C.H., 1963, Surface dew point and water vapor aloft, *Journal of Applied Meteorology*, 2, 776-779.
- TETENS, O., 1930, Über einige meteorologische Beriffe, *Z. Geophys.*, 6, 297-309.

## SPATIALISATION DES INFORMATIONS CLIMATIQUES DANS UN PÉRIURBAIN DE RELIEF VARIÉ

I. Haidu

*Université de Cluj-Napoca, Faculté de Géographie,  
[ionel\\_haidu@yahoo.com](mailto:ionel_haidu@yahoo.com)*

### Résumé

L'étude présente un algorithme de travail pour la constitution du fond d'informations climatiques d'un périurbain de relief varié, en vue d'offrir un support climatique pour la prise de décisions d'aménagement du territoire. Les éléments climatiques thermiques sont caractérisés par des régressions linéaires et les hydrométéores par des régressions non-linéaires. Pour exprimer l'influence du relief sur le topoclimat, les équations de régression entre l'élément climatique et l'altitude ont été spatialisées de manière différenciée, en tenant compte de l'exposition des versants et de la pente.

**Mots-clé:** périurbain, topoclimat, spatialisation différenciée, régression, ArcView

### Abstract

The study presents a work algorithm for the constitution of a fund of climatic information in a periurban area of varied relief, in order to offer a climatic support for making territory management decisions. Thermal climatic elements are characterized by linear regressions and hydrometeors by non-linear regressions. In order to express the influence of relief on the topoclimate, the regression equations between the climatic element and altitude were spatialized differently, taking into consideration the exposure of the versants and the slope.

**Key-words :** periurban, topoclimate, differentiated spatialization, regression, ArcView

### Introduction

L'objectif de l'étude est la constitution d'un fond d'informations climatiques pour la région périurbaine de la ville de Bistrița (Roumanie) en vue d'offrir un support climatique pour la prise de décisions d'aménagement du territoire. Vu qu'il s'agit d'un plan de très longue durée, les autorités administratives prennent en considération un périurbain plus large qu'habituellement, qui inclut les territoires des communes voisines de l'aire municipale. Mais ce territoire, situé au contact de la Dépression de la Transylvanie et de l'arc carpatique, comprend un relief très varié, allant de la plaine et des prés aux dépressions, couloirs de vallée, versants à diverses inclinaisons et expositions, jusqu'aux hauts interfleuves spécifiques des montagnes moyennes. Dans une première phase, on sollicite la spatialisation des données disponibles pour obtenir des cartes des principaux éléments climatiques : température moyenne annuelle, températures maximales et minimales, nombre de jours d'hiver, nombre de jours d'été, nombre de jours sans gel au sol, nombre de jours avec une couche de neige, nombre de jours avec précipitations, total des précipitations annuelles, date d'apparition de la première brume, date d'apparition de la dernière brume. Pour l'élaboration de ceux-ci, il faut tenir compte du rôle du relief dans la distribution des éléments climatiques, en premier lieu de

l'influence de l'altitude et en second lieu de l'influence de l'inclinaison et de l'exposition des versants. Cette étude décrit la façon dont la grandeur de ces influences a été incorporée dans les cartes climatiques.

## 1. Données et méthodes

Au centre de l'aire se trouve seulement la station climatique Bistrița (358 m) et 4 autres postes pluviométriques. On a dû recourir à des stations voisines, au nord on est allé jusqu'à 100 km et au sud à 200 km, sans quitter les conditions de contact entre la vaste Dépression de la Transylvanie et les Carpates. Pour les températures et les précipitations annuelles, on a disposé de 15 stations, la plus basse étant à 194 m et la plus haute à 1095 m, la durée des enregistrements étant de 30 – 50 ans. Pour les autres éléments, le nombre des stations et la durée des enregistrements a baissé vertigineusement. On comprend le fait que les résultats comporteront certaines erreurs inhérentes dues à la limitation du fond de données. Mais, par certaines expressions empiriques déduites par d'autres chercheurs à l'intérieur d'espaces carpatiques similaires, on a essayé de minimiser ces erreurs. En principal, on a utilisé deux étapes de travail. La première se réfère à l'analyse de régression et la deuxième à l'utilisation d'un programme SIG pour la modélisation de l'influence de l'inclinaison et de l'exposition des versants sur les éléments climatiques, aussi bien que pour la spatialisation proprement dite.

## 2. Exprimer l'influence de l'altitude

À l'échelle régionale, le relief majeur est le facteur principal dans la différenciation des valeurs des éléments climatiques. Vu la disposition en altitude du territoire analysé, de 280 m à 1150 m, aussi bien que la disposition géographique, le premier facteur de différenciation climatique est représenté par le macrorelief ou le relief majeur. Cette influence peut être exprimée à l'aide des gradients verticaux. Donc, pour chacun des éléments climatiques à cartographier, on sollicite la détermination des équations de régression avec l'altitude. Pour l'identification de la régression la plus adéquate de plusieurs possibilités, on a utilisé des critères statistiques spécifiques (l'erreur standard et le coefficient de détermination). À part la validation statistique, il faut aussi une validation physique, dans le sens que l'extrapolation des courbes à des altitudes plus hautes doit produire des valeurs climatiques qui soient possibles du point de vue naturel. Les gradients résultants sont des gradients de versant et non pas des gradients spécifiques de l'atmosphère libre. Les résultats obtenus peuvent être divisés en deux catégories : régressions linéaires pour des éléments climatiques thermiques et régressions non-linéaires pour des éléments climatiques qui reflètent les précipitations, qui sont liées plus étroitement à la pression de la vapeur d'eau. Dans tous les cas, on a noté l'altitude par H.

### Régressions linéaires:

- Températures moyennes annuelles,  $TA = a - bH$  ; a = 10.2; b = -0.005
- Températures maximales,  $TMX = a - bH$  ; a = 41.3; b = -0.008
- Températures minimales,  $TMN = -a + bH$  ; a = -35.2; b = 0.009
- Nombre annuel de jours d'été,  $T \geq 25^{\circ}C$ ,  $JE = a - bH$  ; a = 100.2; b = -0.008
- Nombre annuel de jours d'hiver,  $T \leq 0^{\circ}C$ ,  $JH = a + bH$  ; a = 22.3; b = 0.03
- Nombre annuel de jours sans gel,  $JSG = a - bH$  ; a = 203; b = -0.08
- Nombre annuel de jours avec une couche de neige,  $JN = a + bH$  ; a = 0.63; b = 0.10

### Régressions non-linéaires:

- Total annuel de précipitations ( TP )

1) Taux de croissance de la saturation  $TP = \frac{aH}{b+H}$  ; a=1900, b=635; 2) Pression de vapeur

- Nombre annuel de jours avec précipitations  $\geq 0.1$  mm ( JP )

1) Modèle de la capacité de chaleur  $JP = a + bH + \frac{c}{H^2}$  ; a=140.6; b=0.02; c=-2108779

2) Taux de croissance de la saturation

- Première brume ( PB )

1) Modèle de la capacité de chaleur  $PB = a + bH + \frac{c}{H^2}$  ; a=24.13; b=-0.01; c=631835

2) Modèle de la pression de vapeur  $PB = e^{\frac{a+b}{H} + c \ln H}$  ; a=9.20; b=-177.9; c=-0.92

- Dernière brume ( DB )

1) Taux de croissance de la saturation  $DB = \frac{aH}{b+H}$  ; a=54.8, b=422; 2) Pression de vapeur

Évidemment, les paramètres des équations de régression sont valables seulement pour la région étudiée et pour l'amplitude de relief comprise entre 200 –1200 m. Mais la nature des régressions, surtout de celles non-linéaires, exprime des réalités mieux connues dans les laboratoires de physique. Il semble que le total des précipitations et le nombre des jours avec précipitations peuvent augmenter asymptotiquement jusqu'à un niveau « limite de saturation » qui doit dépendre des conditions atmosphériques régionales et locales. En ce qui concerne la brume, on pourrait dire que les régressions respectives reflètent le processus météorologique de la genèse de celle-ci. Tenant compte du fait qu'il s'agit de la date de la première et de la dernière brume, les expressions respectives pourraient refléter des conditions à la limite, imposées par le régime thermique de l'air.

### 3. Exprimer les influences de l'exposition et de la pente

On connaît le fait qu'à part l'altitude, les caractéristiques des éléments climatiques locaux dépendent également de l'inclinaison et de l'exposition des versants. À l'échelle locale, les valeurs des éléments climatiques sont détaillées par l'orientation des sommets, le degré d'inclinaison et l'exposition des versants par rapport à la direction des rayons solaires et au vent. Ces caractéristiques de relief déterminent la différenciation locale de la radiation solaire globale et, par conséquent, elles influencent la grandeur des éléments topoclimatiques. À l'aide du diagramme de Kaempfert-Morgan, on a calculé le potentiel calorique des versants exprimé par les valeurs de la radiation solaire maximale:

125–165 Kcal/cm<sup>2</sup> x année, en fonction du degré d'inclinaison des versants S, S-E et S-O;

110–125 Kcal/cm<sup>2</sup> x année, en fonction du degré d'inclinaison des versants E et O;

65–115 Kcal/cm<sup>2</sup> x année, en fonction du degré d'inclinaison des versants N-E et N-O;

45–110 Kcal/cm<sup>2</sup> x année, en fonction du degré d'inclinaison des versants N.

Les régressions moyennes obtenues ci-dessus doivent être détaillées en fonction de l'importance de la radiation solaire globale pour chaque élément climatique. Pour des échelles de détail microclimatiques il y a des relations empiriques entre la radiation solaire maximale et certains éléments climatiques. À l'échelle topoclimatique abordée dans cette étude et tenant compte des relations empiriques, on peut apprécier le fait que les gradients verticaux doivent être sensiblement agrandis ou réduits de jusqu'à 5 – 10% sur les versants avec prédominance

nord ou sud. Ceci est possible en influençant les paramètres de pente des équations de régression déterminées ci-dessus. Par conséquent, pour un certain élément climatique, le même type d'équation de régression n'est pas spatialisé au niveau de tout le territoire. La spatialisation a lieu de manière différenciée, par exemple dans le cas de la température moyenne annuelle sur les versants nord, on utilise des gradients plus petits, alors que pour les versants sud on applique des gradients plus grands. Pour la transposition différenciée des régressions dans le territoire, on recourt aux fonctions d'algèbre cartographique d'un programme SIG, dans notre cas ArcView. À l'aide de celui-ci, la variable altitude (H) de chaque régression (différenciée en fonction de l'exposition et de la pente) est remplacée par le modèle numérique du terrain (MNT), le résultat étant des modèles numériques climatiques (MNC), par exemple Figure 1.

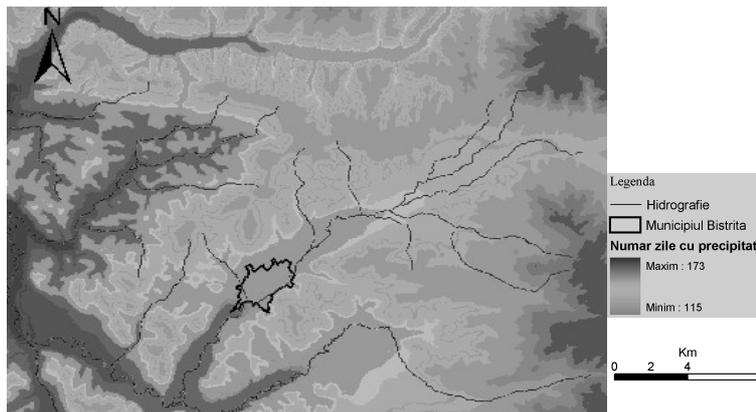


Fig. 1. Nombre annuel de jours avec précipitations  $\geq 0.1$  mm.

## Conclusions

Les résultats de cette analyse sont représentés par une série de cartes climatiques qui seront utiles aux autorités administratives locales en vue de l'élaboration du plan d'aménagement territoriale du périurbain, sur une longue durée. L'enchaînement des méthodes de travail mentionnées se constitue sous la forme d'un algorithme de travail qui peut être utilisé pour d'autres éléments climatiques ou variables physiques qui dépendent du relief. Il resterait à introduire l'influence de la forêt sur les éléments climatiques à l'échelle locale, mais ce désidératum peut faire l'objet d'une autre application. L'explication de la nature des régressions non-linéaires obtenues, dont quelques-unes sont surtout citées en physique, ouvrirait la voie d'une compréhension plus profonde de l'influence du relief sur le topoclimat.

## Bibliographie

- FARCA I. (1998), *Curs de Topoclimatologie si Microclimatologie*, Universitatea "Babes-Bolyai" Cluj-Napoca.
- Haidu I., Bilasco S. (1995), *Algoritm G.I.S. pentru obtinerea hartilor climatice*. In: *Geografia in contextul dezvoltarii contemporane*. Universitatea "Babes-Bolyai" Cluj-Napoca (accepte).

## **BROUILLARDS ET MAUVAISES VISIBILITES EN BELGIQUE. ANALYSE MENEES A PARTIR DES OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES EFFECTUEES DANS LES AEROPORTS CIVILS**

**M. ERPICUM\*, C. DE SWERT\*\*, T.\* & E. THIBAUT\*\***

*\*Laboratoire de topoclimatologie et climatologie, Université de Liège  
Bat B11, Sart Tilman. 4000 Liège, Belgique, E-mail : [michel.erpicum@ulg.ac.be](mailto:michel.erpicum@ulg.ac.be)  
\*\* Belgocontrol, Tervuursesteenweg,303, 1820 Steenokkerzeel, Belgique*

### **Résumé**

Cette contribution présente quelques résultats obtenus à partir de traitements informatiques des observations horaires synoptiques du brouillard et des visibilités médiocres. Les traitements de ces données mettent en évidence des évolutions spatio-temporelles intéressantes.

**Mots-clés:** brouillard, visibilité médiocre, Belgique

### **Abstract**

This paper presents some results obtained about the statistics of hourly synoptic observations of the fog and the poor visibilities. The processings of these data highlight interesting space-time evolutions.

**Key-words:** fog, poor visibility, Belgium

### **Introduction**

Pour rappel, le brouillard est « une suspension dans l'atmosphère de très petites gouttelettes d'eau, en général microscopiques, réduisant la visibilité à la surface du globe à moins d'un kilomètre », la limite supérieure étant fixée *conventionnellement*. On fait souvent la confusion entre brouillard, brume humide et brume sèche.

La brume humide est « une suspension dans l'atmosphère de microscopiques gouttelettes d'eau ou de particules hygroscopiques humides, réduisant la visibilité à la surface du globe à moins de 5 km, mais plus que 1 km ». La brume sèche est « une suspension dans l'atmosphère de particules sèches extrêmement petites, invisibles à l'œil nu et suffisamment nombreuses pour donner à l'air un aspect opalescent ». Il n'existe pas de limites *conventionnelles* pour la visibilité horizontale afin de mentionner la brume sèche.

Le brouillard glacé est « une suspension dans l'atmosphère de très nombreux et minuscules cristaux de glace réduisant la visibilité à la surface du globe à moins de 1 km »

On assimile souvent le brouillard à un stratus dont la base est proche ou en contact avec le sol.

Le stratus est une couche nuageuse généralement grise, à base assez uniforme, pouvant donner lieu à de la bruine, des prismes de glace ou de la neige en grains.

## 1. Subjectivité de la mesure de la visibilité

L'estimation de la visibilité est une tâche d'observation météorologique qui reste subjective car elle exige de l'observateur une scrutation de tout son horizon et qu'au sein de la plupart des brouillards la visibilité n'est pas constante. Il s'avère donc utile de vérifier la qualité de l'observation de la visibilité, même si celle-ci est effectuée par des observateurs professionnels à partir de points de repères caractéristiques. Alors que l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) impose strictement de codifier les observations de la visibilité à l'aide de deux chiffres par pas de 100 mètres de 0 à 5 000 mètres, par pas de 1 km de 5 à 30 km et par pas de 5 km pour les visibilités les meilleures, les données obtenues restent entachées d'imperfections. La figure 1 permet de mettre en évidence ces imperfections pour les visibilités médiocres (les cas de brumes et brouillards).

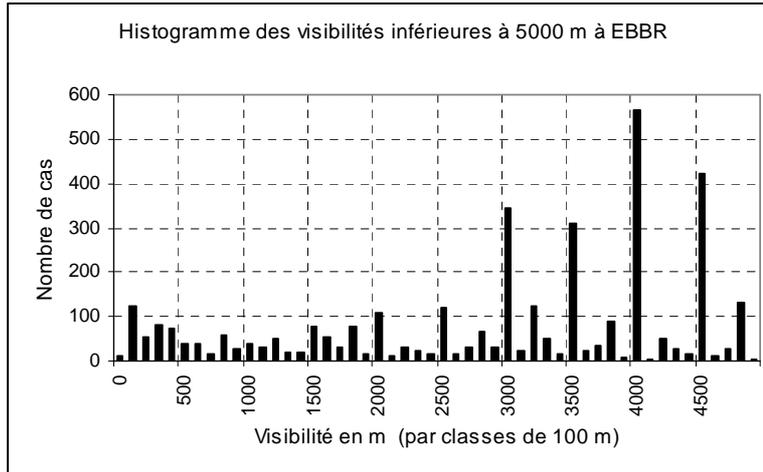


Figure 1 : Histogramme des visibilités < 5 000 m observées à l'aéroport de Zaventem (EBBR). Source : observations synoptiques de la période 1987-1996 (Belgocontrol)

Sur cette figure on constate qu'à l'aéroport de Zaventem (aéroport de Bruxelles-National, Belgique), au-delà de la limite supérieure des visibilités liées aux procédures aéronautiques de sécurité enclenchées en conditions de visibilité médiocre (<1500 m), les observateurs ont tendance à arrondir leurs estimations de visibilité à des intervalles multiples de 500 mètres à l'exception de la valeur de 4800 m (valeur correspondant vraisemblablement à la distance d'éloignement d'un point de repère aisé). Cette constatation prouve combien il est délicat d'estimer à 100 m près la visibilité au-delà de 1500 mètres et combien le scientifique doit donc traiter ces données de visibilité avec circonspection.

Dans le but de disposer de statistiques opérationnelles à propos des visibilités médiocres, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) a d'ailleurs classé les valeurs de ces visibilités en 4 classes :

0 m < Classe 1 < 800 m ; 800 m <= Classe 2 < 1500 m ; 1500 m <= Classe 3 < 3000 m ; 3000 m <= Classe 4 < 5000 m

## 2. Résultats

Alexandre et al (1992) ont montré, à partir des données de l'aéroport de Liège-Bierset, combien la fréquence d'occurrence du brouillard varie fortement selon le moment dans l'année et dans la journée.

La fréquence d'occurrence du brouillard augmente de la Basse et Moyenne Belgique vers la Haute Belgique (figure 2)

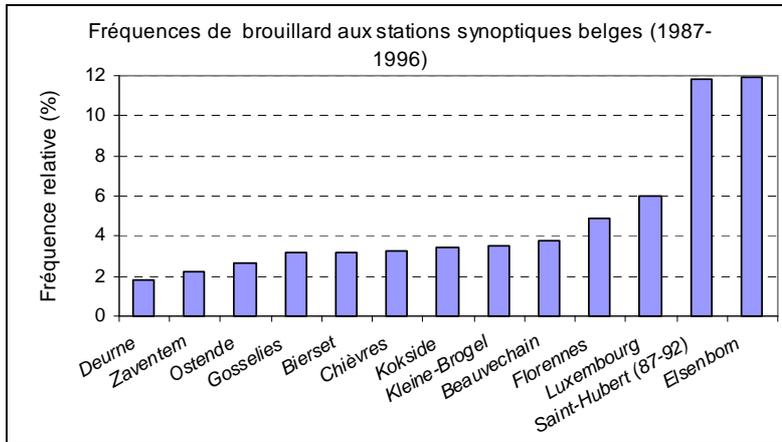


Figure 2 : Fréquence (%) du brouillard. NB : Deurne, Ostende, Koksijde, Zaventem, Gosselies, Bierset, Chièvres, Beauvechain et Kleine-Brogel (stations de Basse et Moyenne Belgique) ; Florennes, Saint-Hubert et Elsenborn (stations de Haute Belgique)

En Belgique, l'évolution saisonnière de la fréquence du brouillard est très grande d'une année à l'autre et l'exemple de Liège-Bierset est présenté à la figure 3. Les fréquences horaires saisonnières absolues sont obtenues par la méthode des moyennes glissantes centrées calculées sur 5 années successives. La périodicité mise en évidence par cette figure mérite d'être confirmée ou infirmée. Les auteurs ont programmé de prendre en compte les données des 8 dernières années pour y aboutir encore cette année.

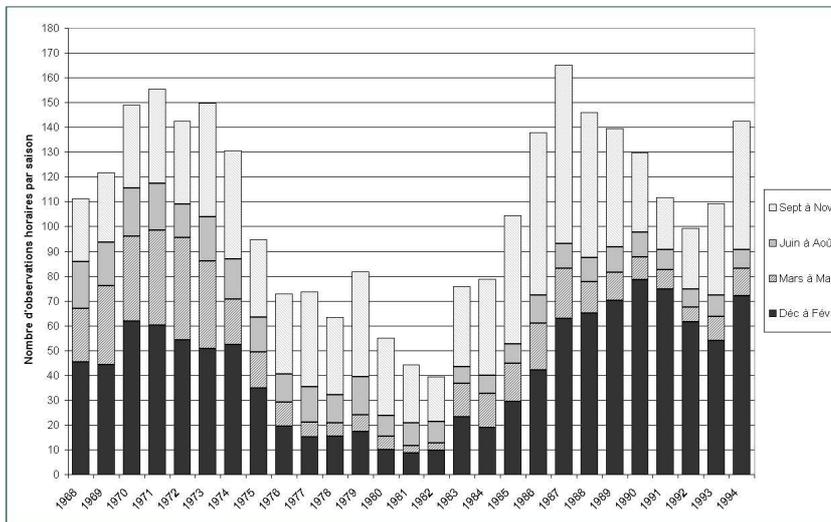


Figure 3 : Evolution saisonnière de la fréquence du brouillard entre 1968 et 1994, à Liège-Bierset

## **Conclusion**

Une bonne connaissance des fluctuations spatio-temporelles du brouillard et des visibilités médiocres peut constituer un outil stratégique pour une meilleure prise en compte des contraintes météorologiques imposées aux pays du nord de l'Europe occidentale subissant des hivers très humides.

## **Bibliographie**

ALEXANDRE, J., ERPICUM, M., & VERNEMMEN, C., 1992. Le climat. In J. Denis (éd.) *Géographie de la Belgique*. Comité National de Géographie, Crédit Communal, Bruxelles, Belgique, 87-128

BELAYEW, D., 1976. Répartition des brumes et des brouillards dans l'agglomération liégeoise et les régions voisines. Université de Liège, Mémoire, inédit, 125 p. + annexes

O.M.M., 1990. Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques, 5<sup>ème</sup> édition, O.M.M. n° 008

THIBAUT, E., 1998. Etude du brouillard à l'aéroport de Bruxelles-National. Essai d'une analyse spatio-temporelle et mise en évidence d'effets de site. Université de Liège, Mémoire, inédit, 127 p. + annexes

THIBAUT, E., 2004. Introduction aux techniques de prévision du brouillard, Belgocontrol, inédit, 117p. + annexes

## LES SURPRISES CLIMATIQUES DE L'ANNEE 2003 EN TUNISIE. ALEAS OU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ?

Y. ZAHAR

*Faculté de La Manouba, Département de Géographie. 2010 La Manouba TUNISIE.*  
[Yadh.zahar@flm.rnu.tn](mailto:Yadh.zahar@flm.rnu.tn)

### Resume

L'année 2003, a été sur le plan hydroclimatique une année très particulière voire singulière. Aux pluies diluviennes sur le nord-ouest de janvier 2003, a succédé la canicule de l'été 2003 observée sur pratiquement l'ensemble du pays. Cette canicule a peut être été à l'origine des pluies orageuses et intenses de septembre sur le nord-est, et qui ont provoqués des inondations catastrophiques sur la région de Tunis. Cette cascade d'événements hydroclimatiques durant la même année constitue en soit une bonne raison de s'interroger si de tels événements extrêmes sont le signal d'un changement climatique, tout au moins d'un climat qui devient plus extrême. Mais singulièrement, ces événements extrêmes ne permettent pas de conclure à des ruptures de stationnarités dans les chroniques historiques, même si plusieurs records de pluie et de température ont été largement dépassés.

**Mots clés:** événements extrêmes – inondation - canicule – aléas - changement climatique.

### Abstract

2003 was on the hydro climatic plan a very peculiar and even a very special year. To the diluvian rains on the northwest of January, 2003, succeeded the scorching heat of 2003 summer, observed on practically the entire country. This scorching heat was probably at the origin of the stormy and intense September rainfalls on the northeast. These later provoked catastrophic floods in the Tunis area. This succession of hydro climatic events during the same year makes one's to wonder if such extreme events are the signal of a climatic change, or at least of a climate becoming more extreme. But taken one by one, these extreme events don't permit to conclusion that it's none equivalent population to those already observed previously, even though several rain and temperature records were exceeded.

**Key words:** Extreme events – flood – scorching heat - alea – climate change.

### Introduction

L'année 2003 est marquée par trois événements hydroclimatiques extrêmes :

En janvier 2003, des pluies diluviennes se sont abattues sur le nord-ouest. Ces pluies ont provoqué des crues très importantes sur le réseau hydrographique du nord, et particulièrement sur la Medjerda et ses affluents, qui ont causé de nombreux dégâts aux villes et infrastructures riveraines. L'été 2003 a été marqué par des records de température qui ont coïncidé avec la canicule plus gravement ressentie en France et en partie en Europe, peut être moins préparés à ce genre d'événements. Passant d'une extrême à l'autre, le mois de septembre a permis d'enregistrer le record de pluie jamais observé sur Tunis, soit 182,5 mm le 17 septembre 2003. Une semaine plus tard la pluviométrie a atteint 130 mm le 23 septembre 2003. Ces pluies d'origine convective, et probablement dues à la canicule de l'été, ont été orageuses et intenses et ont causé de nombreux dégâts dans la région de Tunis.



atteindre le niveau des crues historiques de 1931 et de 1973. Elles ont été manifestement atténuées par les barrages existants. Toutefois, les villes riveraines de Bou Salem, Medjez El Bab, et Jedeïda ont été particulièrement affectées par les inondations et les débordements de eaux de la Medjerda.

Tableau 1 : Les crues extrêmes observées

| Année                                      | 1929      | 1931      | 1940      | 1947      | 1949          | 1952          | 1959          | 1969          | 1973          | 2003       |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Q <sub>pointe</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) | 1790      | 2060      | 1780      | 1700      | 981           | 980           | 1490          | 1410          | 3500          | 1400       |
| Station                                    | Bou Salem | Bou Salem | Bou Salem | Bou Salem | Medjez El Bab | Sidi Salem |

Source : Institut National de la Météorologie.

### 1.2. La canicule de l'été 2003

L'été 2003, est l'été le plus chaud enregistré en Tunisie. La canicule, sans atteindre l'ampleur catastrophique enregistrée en France, a été ressentie sur l'ensemble du pays, et plusieurs records des stations de mesure ont été dépassés. L'écart à la normale des températures moyennes est remarquable (tableau 2):

Tableau 2 : Ecart de température °C

| Ecart à la normale | Juin     |           |            | Juillet  |           |            | Août     |           |            |
|--------------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|------------|
|                    | Max. Moy | Max. 2003 | Ecart Moy. | Max. Moy | Max. 2003 | Ecart Moy. | Max. Moy | Max. 2003 | Ecart Moy. |
| <b>NORD</b>        |          |           |            |          |           |            |          |           |            |
| BIZERTE            | 27,7     | 32,6      | +3,5       | 31,3     | 34,9      | +3,5       | 31,6     | 36,0      | +3,1       |
| TUNIS-CARTHAGE     | 29,0     | 34,1      | +4,2       | 32,6     | 36,8      | +4,2       | 32,7     | 37,0      | +3,8       |
| JENDOUBA           | 32,1     | 36,4      | +3,6       | 36,1     | 39,4      | +3,6       | 35,9     | 39,3      | +3,1       |
| LE-KEF             | 31,3     | 34,4      | +4,0       | 34,3     | 38,3      | +4,0       | 35,3     | 36,9      | +2,0       |
| <b>CENTRE</b>      |          |           |            |          |           |            |          |           |            |
| KAIROUAN           | 32,9     | 36,8      | +4,1       | 36,8     | 40,9      | +4,1       | 36,3     | 39,6      | +3,4       |
| SFAX               | 28,9     | 32,4      | +4,0       | 31,9     | 35,8      | +4,0       | 32,2     | 32,3      | -0,3       |
| <b>SUD</b>         |          |           |            |          |           |            |          |           |            |
| GABES              | 27,3     | 29,8      | +3,7       | 30,6     | 34,6      | +3,7       | 31,3     | 34,7      | +4,2       |
| GAFSA              | 33,7     | 36,2      | +3,7       | 36,8     | 41,2      | +3,7       | 36,2     | 38,9      | +2,5       |

Les pluies convectives du mois de septembre ont probablement pour origine les fortes chaleurs de l'été, et l'excès de condensation de vapeur d'eau en mer méditerranée (à ma connaissance des événements convectifs et orageux ont également été observés en septembre à Marseille et à Montpellier notamment).

Ces pluies se sont caractérisées par deux noyaux orageux consécutifs centrés sur Tunis (figure 4), et à une semaine d'intervalle : la journée du 17 septembre a été marquée par un record de pluie de 182,5 mm (station de Tunis-Carthage), et le 23 septembre on a enregistré 130 mm (précédent record 133,5 mm en 1975/76). En revanche à Tunis Manoubia (située à 8 km), les quantités ne sont pas records (62,5 mm le 17 septembre). Cette station est la plus ancienne du pays, et on a déjà enregistré en 1876/77 : 165,2 mm, en 1897/98 : 149,1 mm, en 1935/36 : 127,5 mm, et en 1975/76 : 117,5 mm. L'averse orageuse du 17 septembre a été particulièrement intense (139 mm en 90 minutes !). Si on se limite à la série observée, elle correspond à un événement de récurrence égale à 2000 ans !? Si on s'appuie sur une analyse spatiale, en termes de stations années (Zahar et Laborde, 2000) la récurrence est de 370 ans ? C'est en tout cas très exceptionnel... ! Le cumul des pluies du mois de septembre à Tunis a atteint 343 mm, soit 11 fois la normale du mois. Ces deux événements ont engendré un volume d'eau de crues urbaines égal à environ 80 millions de m<sup>3</sup>, soit nettement plus que la capacité cumulée de la trentaine de bassins d'orages de Tunis (de l'ordre de 1 million de m<sup>3</sup>).

## 2. Discussions

L'analyse des tendances des chroniques pour les trois événements extrêmes de 2003, n'a pas été significative au sens statistique (tests de tendances de Kendall non significatifs pour les chroniques de pluies et de température, pour  $\alpha = 5\%$ ). En effet, il est généralement admis, qu'il faut disposer de séries bien trop longues (beaucoup plus que cent ans) avant de déceler une véritable tendance (Klemes, 1975). Même la série de pluies de Tunis-Manoubia, (en service depuis 1873), ne permet pas de définir une quelconque tendance significative au sens statistique (Sakiss et al., 1994).

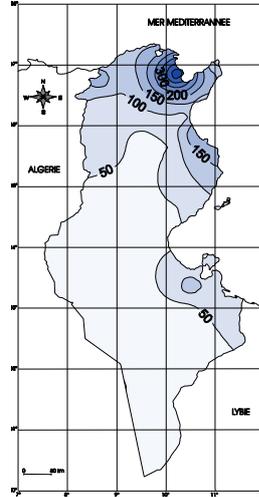


Figure 4 : Isohyètes de septembre 2003

## Conclusion

Un des postulats essentiel du changement climatique, c'est un climat qui devient plus extrême. Certes, les séries statistiques actuelles ne permettent pas de déceler des tendances significatives vers plus d'extrêmes. Sans pour autant conclure hâtivement à un quelconque changement climatique, force est de considérer l'année 2003, comme une année exceptionnelle à cause de l'ampleur des événements observés, et surtout de leur surprenante succession. L'événement de septembre 2003 peut être considéré à la fois comme une translation des extrêmes d'automne du centre au nord, et la marque d'un climat qui devient plus aride, que comme un effet du golfe de Tunis (effet du golfe de Hammamet en 1969, et du golfe de Gabès en 1990 ?). Mais les surprises climatiques de 2003 sont plus dans la cascade des événements extrêmes, que dans l'ampleur des événements eux-mêmes.

## Bibliographie

- KLEMES, V. (1975) Applications de l'hydrologie à la gestion des ressources en eau. Série Hydrologie opérationnelle, rapport n°4 : OMM n° 356. 106p.
- SAKISS, N. & ENNABLI, N. & SLIMANI, M & BACCOUR, H. (1994) : La pluviométrie en Tunisie, a-t-elle changé depuis 2000 ans ? Recherche de tendances et de cycles. INM. 283 p.
- ZAHAR, Y. & LABORDE, J.P. (2000) : Les précipitations journalières extrêmes de Tunisie. Publications de l'AIC. Volume 13. pp. 181-190.

# RÉSULTATS DE MESURES PRÉLIMINAIRES DANS LE CADRE DU PROJET INTERREG IIIA 3c.10: „IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE COMPORTEMENT DE LA VÉGÉTATION DANS LE FOSSÉ RHÉNAN

## AUSWIRKUNGEN VON KLIMAÄNDERUNGEN AUF PFLANZENBESTÄNDE AM OBERRHEIN"

M. ZYGMUNTOWSKI<sup>4)</sup>, L. JAEGER<sup>1)</sup>, N. KODAMA<sup>2)</sup>, I. LEHNER<sup>3)</sup> et J. ROST<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Institut Météorologique de l'Université de Fribourg / Allemagne

<sup>2)</sup> Institut de la Botanique Forestière et de la Physiologie des Arbres, Université de Fribourg

<sup>3)</sup> Institut de Météorologie, Climatologie et Télédétection, Université de Bâle / Suisse

<sup>4)</sup> Faculté de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg / France

### Résumé

D'après des résultats de modèles, le changement climatique régional se manifestera par des étés plus chauds et plus secs dans la région du Rhin supérieur en Europe centrale. Comme cette région est déjà la plus chaude et la plus sèche d'Allemagne, le fossé rhénan apparaît bien adapté à de telles recherches interdisciplinaires. Quelles modifications dans la disponibilité en eau conduiront à des changements dans les récoltes (lesquelles peuvent être corrigées par un choix approprié du type d'agriculture) et dans le stockage de carbone et son changement dans l'esprit du protocole de Kyoto? Le groupe de travail international (Institut Météorologique à Fribourg en Allemagne (qui mène la coordination), l'Institut de Météorologie, Climatologie et Télédétection à Bâle en Suisse, la Faculté de Géographie de l'Université Louis Pasteur à Strasbourg et le Chair de la Physiologie des Plantes de l'institut de la Botanique Forestière à Fribourg) s'est fixé comme objectif de répondre à ces questions.

**Mots-clés:** Fossé rhénan, changement du climat, plantes C3 et C4, flux de carbone, NEE.

### Abstract:

During the last decades we observed an enhancement of the mean air temperature close to the ground of 0.6°C. Simulations of the regional climate predict an increase in temperature of 0.4 °C per decade (Parry, 2000) together with longer periods of dryness in Central Europe in summer.

An enhanced energy supply of the earth surface can lead to higher evapotranspiration. But the climatic situation, which can raise evapotranspiration and lower soil moisture values in mean means the water supply to be a stress factor for the plants. C4-plants (cereals) are better able to stand restricted water supply than C3-plants (trees). In addition, C4-plants are better able to adapt their production in biomass in relation to climatic conditions.

It is necessary to analyse the water balance and the CO<sub>2</sub>-uptake of C3- and C4-plants at relatively dry locations by means of interdisciplinary methods. So it is possible to predict the C3- and C4-plant growth and the possible consequences of climate change on agriculture and forests.

The international working group started measurements at different land uses to estimate water balance and CO<sub>2</sub> balance on both sides of the river Rhine: *pinus sylvestris* (C3-plant) at Hartheim site in Germany (Garthe et al., 1986; Jaeger, 1997), wheat in Hohengoeft close to Strasbourg in France (C3 plant) and in a corn field (C4-plant) at Eimeldingen close to Basle (Switzerland) (Lehner and Vogt, 2004).

We present preliminary results of the measurements at the three sites from the years 2004 and 2005. This is including components of net radiation, water vapour fluxes and, of course, the fluxes of carbon including some footprint studies. Special operation periods with probes of air and sap flow measurements at the three sites to compare make it possible to differentiate to carbon fluxes by means of analyses of <sup>12</sup>C/<sup>13</sup>C-isotops – assimilation – respiration – in the laboratory. These analyses are completed with porometer measurements in the field, which clarifies the interpretation of the NEE-components (netto ecosystem exchange) under the aspects of carbon storage in soil and vegetation cover. And it is necessary for the Kyoto protocol to make those data available in the three countries Germany, France and Switzerland.

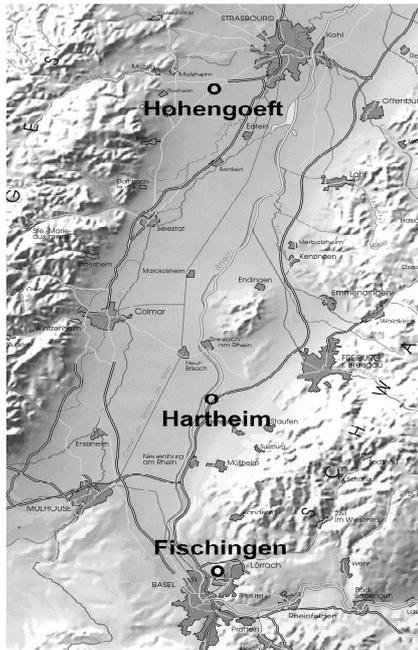
**Key words:** Upper Rhine valley, climate change, C3- and C4 plants, carbon flux, NEE.

## Introduction

Une augmentation de la température moyenne de l'air à la proximité de la surface de la terre de 0.6 °C a été observée dans les décades récentes. Des simulations du climat régional révèlent des augmentations de la température de l'air (0.4 °C par décade; Parry, 2000), ainsi que des périodes estivales de sécheresse prolongées en Europe centrale et donc dans la région du Rhin supérieur.

### 1. Plan de travail

L'augmentation de l'offre en énergie à la surface terrestre peut accroître l'évapotranspiration. Les conditions climatiques qui augmentent l'évapotranspiration et qui diminuent l'humidité du sol font que la disponibilité en eau devient un facteur de stress pour toutes les plantes. La compréhension de ces processus n'en est qu'à ses débuts.



Localisation des stations d'investigation dans le fossé rhénan (d'après Fiedler, 1995)

De façon générale, les plantes C4 (céréales par exemple) sont d'avantage capables de supporter des alimentations en eau restreintes que des plantes C3 (arbres). Ces plantes C4 sont également capables d'ajuster leur production de biomasse en fonction de ces conditions climatiques.

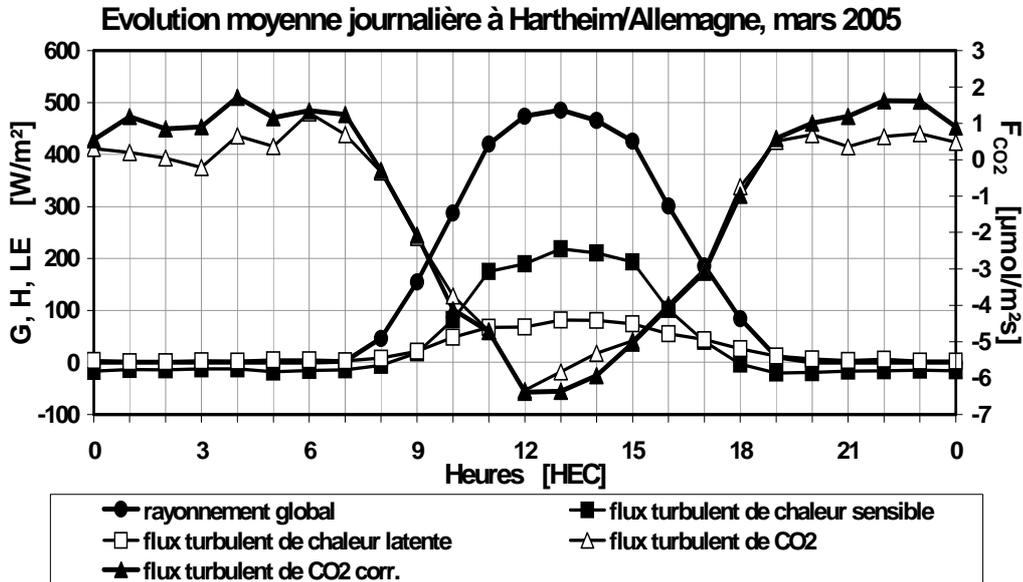
Il est donc nécessaire d'analyser le bilan hydrique et la consommation de CO<sub>2</sub> par des plantes C3 et C4 sur des sites relativement secs avec des méthodes interdisciplinaires. De cette manière, on sera capable de prévoir avec une bonne précision l'accroissement des plantes C3 et C4 ainsi que les conséquences possibles des changements climatiques sur l'agriculture et la sylviculture.

### 2. Résultats préliminaires

Le groupe de travail international a commencé les mesures pour déterminer les bilans hydriques et de CO<sub>2</sub> sur différents types d'occupation du sol dans le fossé rhénan des deux côtés du Rhin: pinus sylvestris (plante C3) à Hartheim en Allemagne (Garthe et al., 1986; Jaeger, 1997), du blé (plante C3) à Hohengoett près de Strasbourg en France et dans le maïs (plante C4) à Eimeldingen près de Bâle en Suisse (Lehner et Vogt, 2004).

Les premiers résultats de mesures sur les trois sites des années 2004 et 2005 sont présentés. Ils concernent les flux de rayonnement, les flux de vapeur d'eau et évidemment du flux de carbone, de

même que des estimations du footprint. Les campagnes de mesures intensives avec des échantillons d'air et des flux de sève sur les trois sites permettent la différenciation des flux de carbone par rapport à l'analyse isotopique  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  – assimilation – respiration – dans le laboratoire. Ces analyses sont accomplies par des mesures porométriques sur le terrain et clarifient l'interprétation des composantes du NEE (netto ecosystem exchange) sous les aspects du stockage de carbone dans la couche végétale et dans le sol. Dans le cadre du protocole de Kyoto, ces données doivent être fournies, notamment par l'Allemagne, la France et la Suisse.



## Conclusion

La méthode d'investigation, décrite ici, est novatrice dans la climatologie géographique française. Le projet est très ambitieux – beaucoup de travail de coordination est nécessaire – et il réclame une coopération interdisciplinaire et transfrontalière, ce que représente aussi le charme de cette intention de recherche internationale.

## Bibliographie

FIEDLER, F. [ed.], 1995: Atlas climatique du fossé rhénan méridional. REKLIP, Projet climatologique régional. Offenbach, Strasbourg, Zürich.

GARTHE, H.-J., JAEGER, L. et KESSLER, A., 1986: L'évapotranspiration, une quantité du bilan énergétique. Une étude à long terme au sujet d'une pinède dans la plaine du Rhin supérieur. *Publ. premier colloque scientif. des Universités du Rhin supérieur: «Rech. env. dans la région»*, 664 – 675.

JAEGER, L., 1997: L'évapotranspiration forestière dans le bassin du Rhin moyen. Comparaison de quelques études effectuées en France et en Allemagne. *Publ. Assoc. Intern. Climatol.*, **10**, 37 – 45.

JAEGER, L., PARLOW, E., PAUL, P., RENNENBERG, H. et ROST, J., 2005: Le Projet Interreg IIIA N° 3c.10 : Impacts des changements climatiques sur le comportement de la végétation dans le fossé rhénan. *Annal. AIC*, à paraître.

LEHNER, I et VOGT, R., 2004: Energie- und Kohlenstoffflüsse in einem Maisbestand. *Proc. DACH, Karlsruhe*, P 5.22.

PARRY, M., L. [ED] (2000): Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environmental Institute, University of East Anglia, Norwich, UK.

# **INFLUENCE DE LA VARIABILITE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES (1961-2000) SUR LE REGIME DE L'ECOULEMENT LIQUIDE DE RIVIERES DES SOUS-CARPATES DE IALOMITA (ROUMANIE)**

**M.O. MURĂRESCU, T. SIMION, G. PEHOIU**

*Université "Valahia" de Târgoviște, Faculté de Sciences Humaines  
([ovidiu\\_murarescu@yahoo.com](mailto:ovidiu_murarescu@yahoo.com))*

## **Resumé**

L'espace analysé (432 km<sup>2</sup>) s'étale entre les rivières Dâmbovița et Prahova, dans les Sous-Carpates de Courbure. Ce secteur se trouve au sud de la Roumanie, dans une zone qui connaît un climat tempéré-continentale de transition. Le régime climatique, par ces particularités, représente la cause essentielle de la variabilité des phénomènes hydrologiques.

**Mots clefs:** saison, précipitations, écoulement, Sous-Carpates.

## **Abstract**

The studied space (432 square km.) is spread between Dambovita and Prahova valleys, as a part of Curved Sub-Carpathians. This sector is laid in the southern Romania, in an area with a temperate moderate continental climate with transition influences. Due to his features, the climatic régime is the main cause of the changeability of hydrological phenomena.

**Key words:** seasons, rains, flow, Sub-Carpathians

## **Introduction**

La source principale de l'alimentation en eau est constituée par les précipitations atmosphériques et la connaissance des variabilités quantitatives dans l'espace-temps. Les besoins, de plus en plus volumineux en eau dans l'alimentation des consommateurs analysés sur diverses entités territoriales dans une perspective de développement durable, constitue un sujet d'étude d'une importance pratique exceptionnelle.

Cette étude permet d'observer les modalités par lesquelles le régime saisonnier des précipitations influence l'écoulement liquide des rivières dans l'espace analysé.

## **1. Données et méthodes**

Les données utilisées sont collectées par trois stations météorologiques et trois stations hydrologiques qui ont centralisé aussi des valeurs à partir de 24 postes pluviométriques et 12 postes hydrométriques. On a analysé les moyens des séries de temps pour les précipitations pour pouvoir vérifier l'omogenité et pour pouvoir évaluer une série des particularités hydrologiques du régime de l'écoulement.

## **2. Résultats**

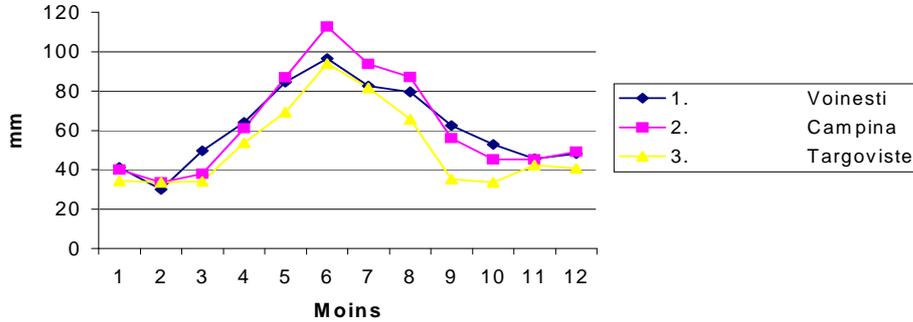
La position géographique, plus ou moins au refuge des Carpates de Courbure, la circulation générale des masses de l'air et la répartition spatiale du relief permettent la réalisation des particularités climatiques, qui influencent le régime de précipitations et en même temps celui de l'écoulement liquide.

Sur les couloirs des vallées se réalise une corrélation entre l'augmentation quantitative et l'altitude, ainsi que, au contact avec la zone montagnarde (N) tombent annuellement 750-800 mm, et au contact avec la plaine (S) 620-650 mm.

La variabilité des précipitations pendant l'année est influencée par les systèmes bariques qui agissent dans la région et par les caractéristiques de la surface sous-jacente. Ainsi, à Voinești et

à Câmpina, le régime annuel des précipitations se caractérise par deux minimums (février-mars: 30,0 mm et octobre 45,2 mm) et un maximum en juin (96-113 mm). Dans la zone de contact avec la plaine on enregistra un maximum en juin (94,0 mm) et deux minimums (février - 33,5 mm et octobre - 30,5 mm) a Târgoviște (Fig. no 1).

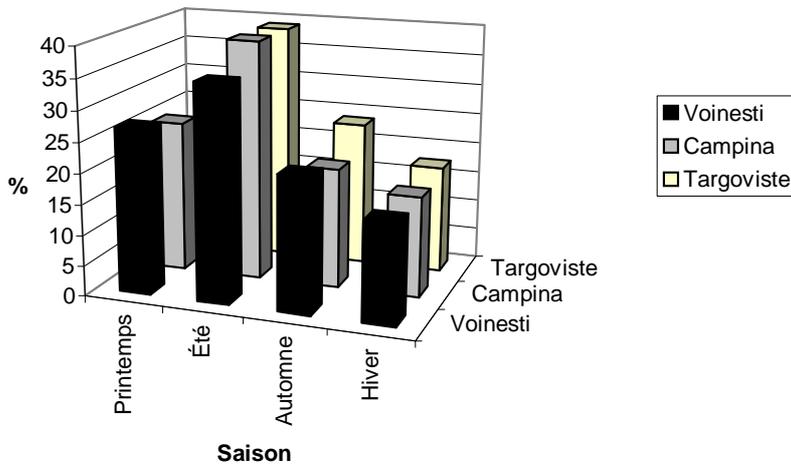
**Fig. No 1. L'évolution du régime pluviométrique (1961-2000)**



La répartition quantitative saisonnière des précipitations moyenne présente des différences. Environ 2/3 se réalisent dans la période chaude de l'année (avril-septembre), la différence dans la période froide (octobre-mars). Cette caractéristique du régime pluviométrique se reflète dans le régime d'écoulement des rivières et sur le niveau des eaux souterraines (Fig. no 2).

Les rivières allochtones grandes collecteurs (Dâmbovița, Ialomița et Prahova) à l'entrée dans le secteur soucarpatique présente des débits modules entre 4,75 m<sup>3</sup>/s - Prahova; 6,88 m<sup>3</sup>/s - Ialomița et

**Fig. no 2. L'évolution du régime pluviométrique saisonnière (1961-2000)**

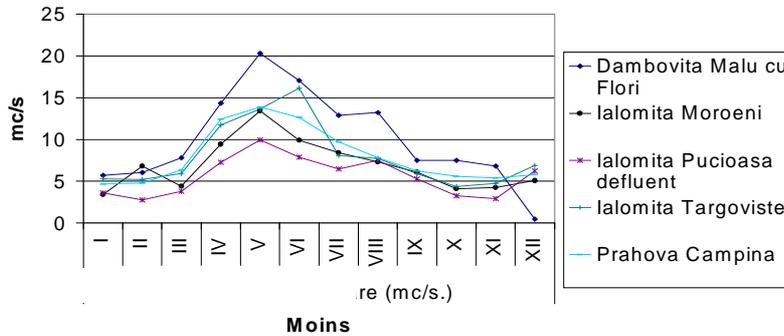


9,97 m<sup>3</sup>/s - Dâmbovița. Au contact avec la plaine, quand elles quittent des Soucarpats, le volume d'eau roulé n'a pas une crue haute significative due au soit nombre réduit d'affluents soit grâce à l'existence des aménagements hydrotechniques. Ainsi, Dâmbovița présente un débit légèrement crue (10,54 m<sup>3</sup>/s) à cause qu'elle a un seul affluent qui est affecté (une fois à 3-5 années par la sécheresse hydrologique).

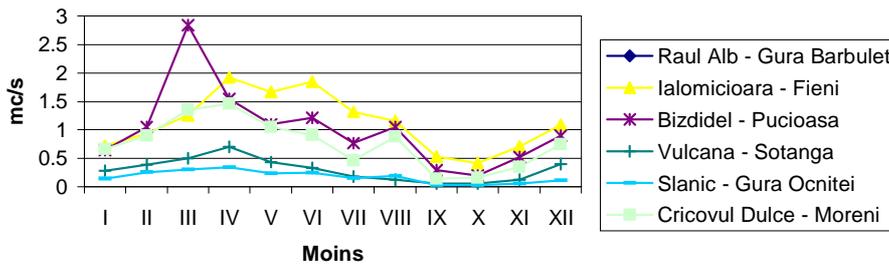
Ialomița présente un débit modul de 7,97 m<sup>3</sup>/s, bien qu'elle a un système hydrographique bien développé, mais ici on ressent les influences d'accumulation et des captations de l'eau. En ce qui concerne le cas de Prahova, son débit modul crue jusqu'à 7,94 m<sup>3</sup>/s après la confluence avec Doftana.

Après l'analyse du régime d'écoulement saisonnier on peut constater que les rivières autochtones enregistrent des valeurs élevées dans la période avril-juillet et les minimales en janvier-février. Pour les rivières autochtones, les plus grandes valeurs sont dans la période de mars-avril et août-septembre, et les minimales dans l'intervalle de septembre-octobre (Fig. no 3.a, b).

**Fig. no 3.a. L'évolution des débits moyennes liquides mensuelles - collecteurs (1961-2000)**



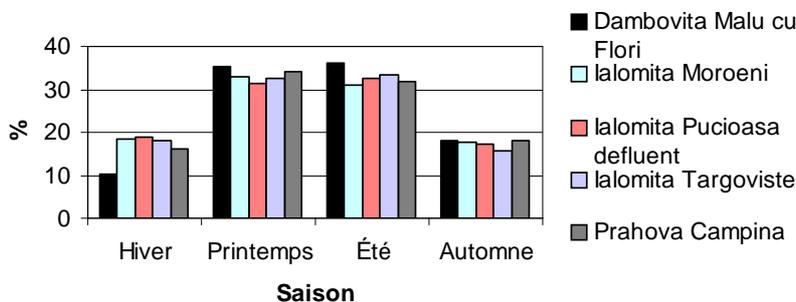
**Fig. no 3.b. L'évolution des débits moyennes liquides saisonnières - affluents (1961-2000)**



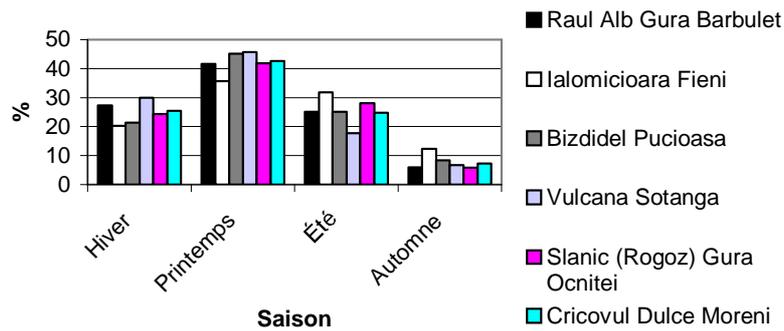
La répartition saisonnière est déterminée par la modalité par laquelle contribuent, pendant l'année, les sources d'alimentation, et les influences climatiques.

Les rivières collecteurs relient les plus grands volumes de l'eau au printemps (35-45% du volume

**Fig. no 4.a. L'évolution des débits moyennes liquides saisonnières - rivières collecteurs (1961-2000)**



**Fig. no 4.b. L'évolution de débits moyennes liquides saisonnières - affluents (1961-2000)**



annuel), l'été (30-35%), suivant une baisse en automne (16-18%) pour qu'en hiver s'enregistrent les plus petits volumes (10-16%) (Fig. no 4.a, b). Leurs affluents transitent des grandes volumes de l'eau au printemps et en été (Bizdidel - 70,27%, Slănic - 69,9%); au printemps et en hiver (Râul Alb - 68,87%, Vulcana - 75,71%, Cricovul Dulce - 68,03%). L'automne est la saison qui a les plus petites volumes de l'eau (3-8%).

#### Références bibliographiques

- BOGDAN O., NICULESCU E. (1999) - *Riscurile climatice din România*, Editura SEGA International, București.
- GÂȘTESCU P. (2002) - *Resursele de apă ale bazinelor hidrografice din România*, în "Terra", 1-2, București.
- MURĂRESCU O.M. (2001) - *L'écoulement liquide saisonnière sur les rivières de Dâmbovița et Ialomița dans le secteur Carpatique et Subcarpatique - Roumanie*, în "Annales Geogr. Series", Tome 2, Universitatea Valahia, Târgoviște.
- MURĂRESCU O.M. (2003) - *Resursele de apă din spațiul carpatic și subcarpatic dintre Dâmbovița și Prahova și valorificarea lor*, Editura Transversal, Târgoviște.
- STĂNESCU V. Al. (1999) - *Modelarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor de apă*, Editura HGA, București.
- ZĂVOIANU I. (1993) - *Drainage basin rocks - a major suspend load control factor*, "Rev. Roum. de géol. géophys. et géogr.", Serie de Géographie, tom 37, București.

## LES PHASES D'INSTALLATION DE LA SAISON DES PLUIES EN REGIME UNIMODAL : L'EXEMPLE DU CAMEROUN ET DU BENIN

G. TCHIADEU & K. HERNANDEZ

*Centre de Recherches de Climatologie de Dijon 6, bd Gabriel 21000 Dijon  
[gchiadeu@yahoo.fr](mailto:gchiadeu@yahoo.fr) et [khernand@u-bourgogne.fr](mailto:khernand@u-bourgogne.fr)*

### Résumé

La Classification Ascendante Hiérarchique réalisée sur le cumul pluviométrique des 50 jours qui suivent le début de la date de la saison des pluies, a mis en évidence trois ou quatre groupes d'années homogènes. On note une différence non significative entre le cumul moyen de la 1951-1993 et le cumul pluviométrique moyen de chaque type d'années.

**Mots-clés** : Nord Bénin, Nord Cameroun, démarrage de la saison des pluies, CAH

### Abstract

In north Benin and in North Cameroon, during the period of study (1951-1993), the CHA displays three or four main classes from the amount of rain which falls during fifty days after the onset of rainy season. No significant difference is noted between the annual amounts .

**Key-words**: North Benin, North Cameroon, onset of the rainy season, CHA

### Introduction

Cette étude s'intéresse à la description des différentes phases d'installation de la saison des pluies au Nord Cameroun et au Nord-Ouest du Bénin et notamment à leur irrégularité et à leur rythme. Leur incidence sur le calage du calendrier agricole se révèle très déterminante (Houndenou et Hernandez, 1998). La méthode utilisée ici est celle des valeurs cumulées sur les données journalières.

### 1. Présentation des zones d'étude

Au Cameroun, la zone d'étude qui s'étend entre 7 et 11° Nord entre le plateau de l'Adamaoua et le lac Tchad appartient aux domaines soudanien et sahélo-soudanien (Tchiadeu et al, 1999). Le nord-ouest du Bénin, situé entre 8°30'N et 11°30'N et entre 0°45'E et 2°10'E, fait partie du domaine climatique soudano-sahélien. Ces deux espaces, soumis à la même dynamique atmosphérique (balancement de la Zone de Convergence Intertropicale), se caractérisent par l'unimodalité de leur régime pluviométrique. L'analyse des corrélations des précipitations réalisées sur les pluies interannuelles standardisées met en exergue un espace cohérent. Les 5 stations du Nord Bénin (Bassila, Djougou, Boukoumbé, Tanguiéta et Natitingou) sont corrélées significativement (99%) et positivement entre elles, car elles sont soumises à des conditions synoptiques semblables. En revanche, au Cameroun, on note une moindre cohérence spatiale entre les cinq stations (Maroua, Kaelé, Garoua, Poli et Ngaoundéré). Les stations béninoises sont également corrélées significativement (95%) et positivement aux stations camerounaises. Garoua est corrélée aux stations béninoises à l'exception de Boukoumbé. Poli est corrélée à Djougou et Boukoumbé. Ngaoundéré est corrélée à Boukoumbé et Natitingou et Kaelé est corrélée à Bassila.

## 2. Données, méthodes

Au nord du Cameroun et du Bénin, les données pluviométriques journalières disponibles couvrent la période de référence 1951 – 1993, soit 43 années d'observations et moins de 1% de données manquantes.

Nous utilisons la méthode des valeurs cumulées journalières (chroniques temporelles normalisées) qui, contrairement à la technique des moyennes mobiles, filtre les variations à basses fréquences. Cette méthode, en faisant abstraction des faibles fluctuations de pluie d'un jour à l'autre, offre un meilleur suivi des phases d'installation de la saison des pluies (Camberlin et al., 2003).

L'évolution de la courbe des valeurs cumulées a une signification pluviométrique précise. Lorsqu'elle décroît, c'est la saison sèche. Au point d'inflexion, lorsque les valeurs cumulées sont minimales, c'est le début de la saison des pluies. Cette courbe croît tout au long de la saison des pluies qui se termine lorsque les valeurs cumulées sont maximales (Fig. 1).

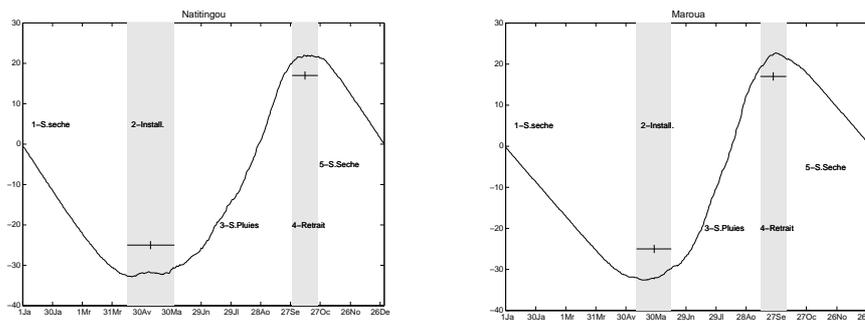


Figure 1 : Valeurs cumulées (1951-1993). Bande grise = date de début ou de fin à  $-\sigma$  et  $+\sigma$

## 3. Le régime pluviométrique pentadaire moyen

Les premières pluies débutent en mars dans les stations méridionales et en avril dans les stations du nord. Le pic pluviométrique enregistré à la 6<sup>ème</sup> pentade d'août est une caractéristique commune à toutes les stations à l'exception de Bassila où il a lieu à la 6<sup>ème</sup> pentade de juillet (figure non montrée). L'autre critère de similarité est la présence de deux phases pluvieuses sauf à Ngaoundéré. La première phase, moins pourvoyeuse de précipitations que la seconde est marquée par une progression en paliers successifs des hauteurs précipités. La seconde phase, aux forts cumuls, correspond à la période durant laquelle la mousson est la plus puissante. Ces deux phases sont séparées entre elles par une ou deux pentades nettement moins abondantes en précipitation.

## 4. Dates de début de la saison des pluies

Bien qu'appartenant au même domaine climatique, les stations de l'espace d'étude ne présentent pas de date moyenne de démarrage de la saison des pluies semblables (Tableau 1). Ce sont les stations de Ngaoundéré (Cameroun) et de Bassila (Bénin) qui affichent les dates les plus précoces respectivement le 17 avril et le 22 avril. Les dates moyennes les plus tardives sont enregistrées à des latitudes plus septentrionales : les 26 et 25 mai respectivement à Maroua et Kaélé (Cameroun), et les 17 et 20 mai à Tanguiéta et Boukoumbé (Bénin).

La variabilité temporelle des dates de démarrage de la saison des pluies est limitée entre l'intervalle plus ou moins un écart-type. Les résultats obtenus à  $+\sigma$  correspondent à des dates tardives et ceux enregistrés à  $-\sigma$  aux dates précoces (Tableau 1).

Les nombres de jours entre les dates à plus et à moins un écart-type précisent l'instabilité temporelle de la date de démarrage de la saison des pluies. Les stations du Nord Bénin connaissent une plus forte variabilité que celles du Nord Cameroun. Cette différence est comprise entre 40 et 59 jours au Bénin et entre 24 et 42 jours au Cameroun.

Tableau 1 : Dates de début de la saison des pluies (1951-1993)

| Pays | Stations   | $\bar{x}$ | $+\sigma$ | $-\sigma$ | $(+\sigma) - (-\sigma)$ en jours |
|------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|
| (C)  | Maroua     | 26 mai    | 13 juin   | 9 mai     | 36                               |
| (C)  | Kaélé      | 25 mai    | 15 juin   | 4 mai     | 42                               |
| (C)  | Garoua     | 8 mai     | 24 mai    | 27 avril  | 27                               |
| (C)  | Poli       | 3 mai     | 21 mai    | 14 avril  | 37                               |
| (C)  | Ngaoundéré | 17 avr.   | 8 mai     | 27 mars   | 42                               |
| (B)  | Tanguiéta  | 17 mai    | 6 juin    | 27 avr.   | 40                               |
| (B)  | Natitingou | 10 mai    | 3 juin.   | 16 avril  | 48                               |
| (B)  | Boukoubé   | 20 mai    | 15 juin   | 25 avr.   | 51                               |
| (B)  | Djouougou  | 10 mai    | 8 juin    | 11 avr.   | 58                               |
| (B)  | Bassila    | 22 avr.   | 22 mai    | 24 mars   | 59                               |

(B) = Bénin ; (C) = Cameroun ;  $\bar{x}$  = moyenne ;  $+\sigma$  = plus un écart-type ;  $-\sigma$  = moins un écart-type.

## 5. Etude des cumuls journaliers

L'étude de l'installation de la saison des pluies est effectuée sur les 50 jours qui suivent la date de démarrage de la saison des pluies, car la plupart des semis sont réalisés au cours de cette période. La classification ascendante hiérarchique (CAH) a produit, selon les stations, des groupements d'individus (les cumuls journaliers) en 3 ou 4 classes homogènes. Une fois le nombre  $k$  de classes définies, la nuée dynamique est utilisée en choisissant comme pôles de départ les barycentres de ces  $k$  classes obtenues. Le test de convergence effectué repose sur 1000 itérations.

Nous présentons les résultats obtenus à Natitingou (Bénin) et à Maroua (Cameroun). Chaque classe regroupe les années ayant le même comportement pluviométrique : de très pluvieuse à faiblement pluvieuse. Ainsi, la figure 1c présente des hauteurs pluviométriques journalières exceptionnelles dont le cumul élevé est de 220 mm à Maroua et de 400 mm à Natitingou. La figure 2 (d, f) caractérise les faibles cumuls pluviométriques. Le test de contingence du  $\chi^2$  établi entre les types d'années et les classes de pluies cumulées montre une indépendance statistique entre ces deux paramètres. En d'autres termes, les types d'années ne sont pas liés au cumul des pluies.

Le choix du test de Student effectué entre le cumul moyen des pluies (1951-1993) et le cumul moyen de chaque type d'années indique les jours qui sont significativement différents (figure 2). En situation exceptionnellement pluvieuse (figure 2c), les différences avec le cumul moyen des pluies (1951-1993) s'établissent, à Natitingou, entre les 34<sup>ème</sup> et 41<sup>ème</sup> jours. En revanche, à Maroua, c'est durant les huit premiers jours qui suivent le démarrage de la saison des pluies (figure 2g). En situation peu pluvieuse, les différences significatives se situent à Natitingou entre les 29<sup>ème</sup> et 42<sup>ème</sup> jours (figure 2d). A Maroua, elles sont situées entre les 24<sup>ème</sup> et 39<sup>ème</sup> jours et entre les 45<sup>ème</sup> et 47<sup>ème</sup> jours (figure 2f).

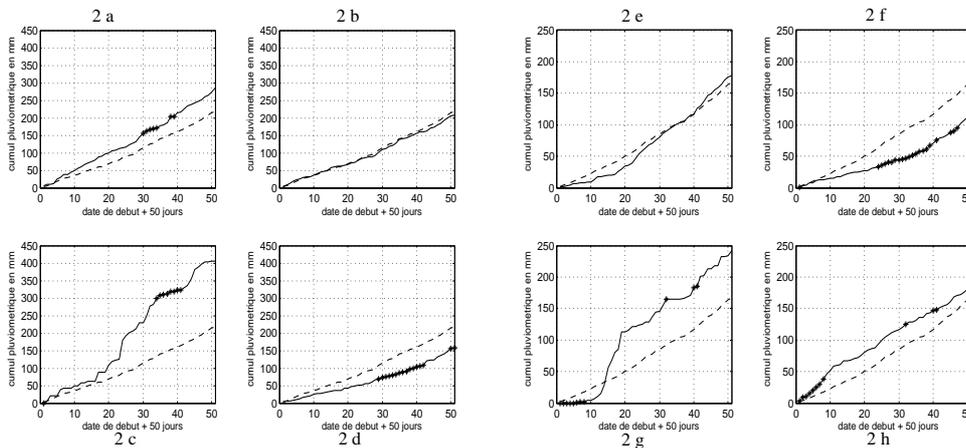


Figure 2 : Test de Student sur les cumuls pluviométriques à Natitingou (a, b, c, d) et à Maroua (e, f, g, h). En trait plein : cumul pluviométrique moyen des années types ; en pointillé : cumul pluviométrique moyen de la série (1951-1993) ; \* = test significatif à 0.05%.

Le trait commun à l'ensemble des quatre types d'années est l'absence de significativité entre le total cumulé moyen sur la période 1951-1993 et le total moyen de chaque type d'année.

### **Conclusion**

La méthode des valeurs cumulées sur les données journalières délimite la saison des pluies et permet le repérage de ses phases d'installation. Au cours de la période d'étude 1951-1993, on note - contrairement au Nord Cameroun- une forte variabilité temporelle dans les stations du Nord Bénin. L'Analyse Ascendante Hiérarchique réalisée sur le cumul des pluies journalières précipitées durant les 50 jours qui suivent le début de la saison des pluies permet de distinguer de 3 à 4 types de partition ou groupe d'années homogènes selon les stations. Le test du  $\chi^2$  au seuil de 0,05 % montre une indépendance statistique entre les années types et les cumuls précipités durant les 50 jours qui suivent la date de démarrage de la saison des pluies.

### **Références Bibliographiques**

- CAMBERLIN P., OKOOLA R., DIOP M. VALIMBA P., 2003 : Identification des dates de démarrage et de fin de saison des pluies : applications à l'Afrique de l'Est et au Sénégal, vol.15, AIC 295-303.
- ERPICUM, M., BINARD, M., PETERS, J.P. & ALEXANDRE, J., 1988. Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (exemples pris au Sénégal). Actes des Journ. de Climatol., Liège, Presses Univ. de Liège, 43-56.
- HOUNDENOU C ; HERNANDEZ K., 1998 : Modification de la saison pluvieuse dans l'Atacora (1961-1990) : un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin, vol.9, n°1, Sécheresse, 23-34 pp.
- TCHIADEU G., TSALEFAC M. et MBAYI R., 1999 : Délimitation de la saison des pluies dans le Nord Cameroun (6°-11° Nord), vol. 12, AIC, 150-158 pp.

# **CARTOGRAPHIE DU VENT A ECHELLE SPATIALE FINE : UTILISATION DU MODELE DIAGNOSTIQUE NUATMOS DANS LES ALPES-MARITIMES**

**N. MARTIN (1) et P. CARREGA (2)**

*Université de Nice-Sophia Antipolis, Equipe G.V.E de l'UMR Espace 6012 du CNRS 98 bd E. Herriot, 06204 Nice  
cedex 3, France. Tel. 33-(0)4 93 37 54 61 Fax 33-(0)4 93 37 54 30 E-mail :  
nicolaspje\_martin@yahoo.fr (1) Pierre.Carrega@unice.fr (2)*

## **Résumé:**

Le modèle diagnostique Nuatmos est utilisé dans l'extrême sud-est de la France dans le but de modéliser le vent à échelle fine au cours des 15 premiers jours d'août 2003. La sensibilité du modèle est d'abord évaluée afin de cerner son comportement : deux domaines d'étude avec des résolutions différentes sont testés ainsi que la capacité de Nuatmos à représenter le vent à différentes altitudes. L'apport de capteurs virtuels permet d'améliorer la cartographie du vent. Les champs de vent, lors de 3 journées présentant des configurations météorologiques différentes, sont simulés et analysés.

**Mots-clés:** Modèle diagnostique, brise thermique, Alpes-Maritimes.

## **Abstract:**

The diagnostic model Nuatmos is used on the extreme south-east part of France with aim of modelling the wind on fine scale during the first 15 days of August 2003. The sensitivity of the model is initially evaluated in order to determine its behavior: two fields of study with different resolutions are tested as well as the capacity of Nuatmos to represent the wind at various altitudes. The contribution of virtual sensors makes it possible to improve the cartography of the wind. Then the fields of wind at the time 3 days presenting of the different weather configurations are simulated and analyzed.

**Key-words :** Diagnostic model, thermic breeze, Alpes-Maritimes district.

## **Introduction**

Le modèle Nuatmos déjà utilisé dans le cadre d'un programme européen sur les feux de forêt trouve aujourd'hui une nouvelle application avec l'intérêt grandissant de la communauté scientifique pour la thématique qualité de l'air. Les déplacements d'air sont au centre de cette problématique ; le paramètre climatique vent est complexe et variable dans le temps en fonction des conditions locales. Parmi celles-ci, la topographie influence fortement les écoulements d'air. Comme la distance séparant les points de mesure du réseau de capteurs est beaucoup trop grande, l'utilisation de méthodes uniquement fondée sur l'autocorrélation spatiale sont inopérantes. La période d'étude de cette recherche est marquée par la prégnance des écoulements de nature thermique dans le département des Alpes-Maritimes, processus étroitement liés au relief. Après avoir testé le modèle diagnostique Nuatmos qui a une approche statistique et physique (principe de conservation de la masse), des journées présentant des situations météorologiques différentes de début août 2003 seront analysées.

## **1.Sensibilité du modèle diagnostique Nuatmos.**

### 1.1.Résolution du domaine et précision de la modélisation du vent.

Deux domaines d'études ont été choisis pour tester la sensibilité du modèle. Le premier domaine est défini par une résolution de 500 m. Il est plus grand en superficie (4265 km<sup>2</sup>) que le deuxième qui est par contre plus précis avec une résolution de 200 m (706 km<sup>2</sup>) (fig. 1). Pour des contraintes de capacités informatiques, il a été impossible de travailler sur le même espace avec une maille plus fine. Ceci entraîne une diminution du nombre de stations météorologiques ; on passe de 23 à 7 stations automatiques ce qui améliore la densité du réseau (1 poste pour environ 100 km<sup>2</sup> contre 1 poste pour environ 185 km<sup>2</sup> dans le grand domaine).

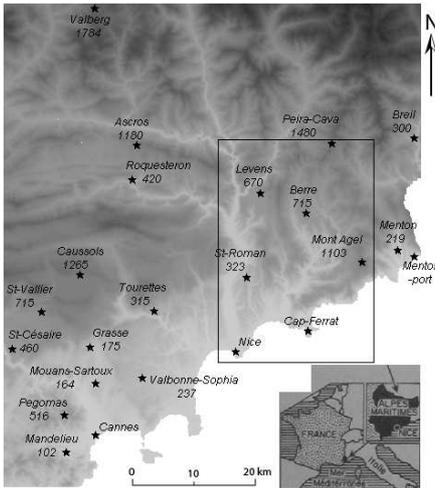


Fig. 1 Le réseau de capteurs automatique du domaine et du sous domaine (encadré)

La comparaison entre les deux résolutions s'effectue donc sur l'espace d'étude à 200 m de résolution avec une résolution graphique à 500 m pour les vecteurs calculés à cette résolution et une résolution graphique de 600 m pour les vecteurs calculés à 200 m afin de disposer d'une visualisation correcte (à 200 m seul un amas de vecteur est représenté). Toutefois un zoom sur une portion intéressante du domaine est nécessaire afin de cerner l'impact réel de l'amélioration de la description du relief. C'est l'extrême nord-ouest du domaine plus finement représenté qui est l'objet de ce zoom puisque les unités topographiques sont de plus grande envergure qu'ailleurs (débouché de la vallée de la Vésubie et de celle de la Tinée sur la basse vallée du Var).

On distingue peu de changements entre les deux modélisations. On observe une moins bonne cohérence dans les vecteurs calculés aux limites du sous domaine qui ne prend pas en compte la totalité de l'espace intégré dans le domaine complet. Mais en zoomant sur le nord-ouest du sous domaine, on note une plus grande influence du relief sur le vent. Le vent est dévié à l'entrée de la vallée de la Vésubie, phénomène qui n'est pas détectable à plus petite échelle. Une plus grande précision du modèle numérique de terrain en entrée du modèle améliore la qualité des champs de vent calculés lorsqu'on se place à la bonne échelle d'analyse.

## 2. Les niveaux sigma du modèle.

La modélisation verticale est effectuée pour des couches prédéfinies dans le code de calcul. Ces couches suivent les altitudes du terrain, et voient donc leur propre altitude varier en fonction du point qu'elles surplombent. Elles ne sont pas strictement parallèles au profil du relief mais sont définies par des niveaux appelés niveaux sigma :

$$\sigma = (Z - z\sigma) / (Z - h)$$

où  $\sigma$  correspond à une couche simulée (paramètre compris entre 0 et 1).

$Z$  est le sommet du domaine verticalement, en mètres (6000 m ici).

$z\sigma$  est l'altitude au-dessus du niveau de la mer de la couche simulée, en mètres.

$h$  est l'altitude du terrain au-dessus duquel on modélise la couche, en mètres.

Nous avons choisi pour observer au mieux les écoulements thermiques de calculer les champs de vent pour les altitudes 10, 50, 200, 600 et 3500 m au-dessus du sol (altitudes définies au niveau de la mer,  $h = 0$ ). Les données de vent en entrée du modèle sont celles mesurées par le réseau automatique de stations de Météo-France dans les Alpes-Maritimes (données mesurées à 10 m au-dessus du sol) ainsi que le vent aux géopotentiels 700 et 500 hPa fournis par les radiosondages de Cuneo. Pour la plus haute couche de simulation (son altitude varie entre 3500 m sur le littoral et 4500 m dans le nord du domaine d'étude), c'est la donnée de vent à 700 hPa qui est représentée. Le champ de vent calculé est uniforme sur tout le domaine puisque la couche se situe entre 3500 m et 1500 m au-dessus du sol du sud au nord du domaine (le plus haut sommet s'élevant à 3000 m). Le relief n'a alors que très peu d'influence sur les écoulements à échelle locale. Pour les autres couches, le champ de vent est bien plus complexe.

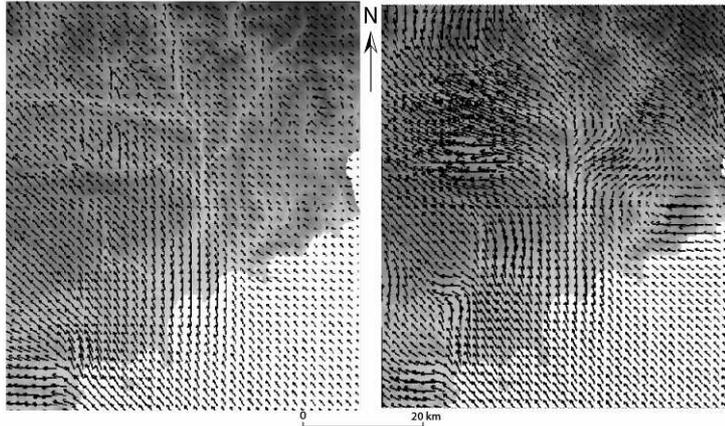


Fig. 2 Simulation le 4 août 2003 à 15h TU à 10 m et 50 m du sol.

En s'appuyant sur l'exemple du 4 août à 15h on perçoit des changements radicaux entre la 1<sup>ère</sup> couche (celle de 10 m) et les 3 autres (50, 200 et 600 m) (fig. 2). Cette différence semble être due à une erreur dans le code informatique lui-même (problème de prise en compte des données à 10 m au-dessus du sol dans le calcul de la 1<sup>ère</sup> couche).

Toutefois les modélisations pour les autres couches représentent globalement assez bien les brises d'aval. Les vitesses semblent décroître avec l'altitude, ce qui pour des écoulements de nature thermique est tout à fait plausible. Au contraire, pour la simulation du vent à 3h, les vitesses paraissent augmenter plus on s'élève, ce qui n'est pas le cas le plus fréquent dans des brises d'amont qui présentent des vitesses maximales très proches du sol.

### 3. Amélioration et validation du modèle.

Certaines portions de l'espace sont affectées de champs de vent qui ne reflètent pas la réalité des phénomènes. C'est le cas lorsque le vent simulé souffle perpendiculairement à une vallée alors que l'ensemble du domaine est dominé par un régime de brise thermique. Ces erreurs proviennent d'un manque d'information sur la zone en question. En mettant en place des procédures d'identification (non détaillées ici par manque de place) du régime de vent, on crée des capteurs virtuels placés où les erreurs de simulation se localisent afin de documenter les espaces en déficit de données. Après modélisation de la première moitié du mois d'août 2003 (à 3h et 15h TU), on note une mauvaise représentation des brises d'amont et d'aval dans la vallée de la Vésubie et dans celle du Var (avant la confluence du Var et de la Tinée).

Les deux capteurs virtuels créés (un pour chaque vallée) permettent une nette amélioration de la cartographie des écoulements thermiques mais ne suffisent pas totalement : dans la vallée du Var l'amélioration n'est que ponctuelle pour les brises nocturnes.

Pour valider le modèle, il est possible d'ôter, des données en entrée, un capteur que l'on appellera capteur témoin et de comparer les résultats des deux simulations ainsi menées. Malheureusement ce type de modèle fonctionne d'autant mieux que le nombre de capteurs en entrée est élevé. En supprimant un capteur, on affecte nécessairement la performance de la modélisation. Cela dépend également du capteur éliminé ; s'il est isolé, alors la modification des champs de vent calculés sera plus grande que s'il est bien entouré.

On peut aussi vérifier la validité du modèle verticalement grâce au profiler de vent de l'aéroport de Nice Côte d'Azur. Pour quelques journées de la période d'étude, des données sont disponibles sur les 4000 premiers mètres de la troposphère. Globalement, les directions convergent mais les vitesses paraissent être sous estimées par Nuatmos.

#### **4. Comportement du vent dans le département durant la 1<sup>ère</sup> moitié d'août 2003.**

La journée du 4 août largement détaillée dans la phase de test présente un temps anticyclonique calme. Les brises de versant, de vallée et de mer laissent place la nuit aux brises de pente, de montagne et de terre. On assiste à un phénomène d'emboîtement d'échelles que le modèle a du mal à représenter.

Le 7 août est marqué par une forte instabilité sur le relief du département. Dès la mi-journée, le développement des cumulus puis des cumulonimbus inhibent les vents thermiques avant de les remplacer par un régime chaotique lié aux orages ou aux précipitations (brise d'amont locale due au refroidissement du sol).

Le changement de situation synoptique dès le 14 août en journée, avec le remplacement de la puissante dorsale anticyclonique par une circulation zonale d'ouest, donne un vent d'ouest sur les stations d'altitude plus exposées aux conditions synoptiques que les autres.

#### **Conclusion**

Malgré les limites informatiques rencontrées durant la phase de test du modèle, il apparaît que Nuatmos appréhende relativement correctement les écoulements d'origine thermique à la fois pour les directions et pour les vitesses. Plus la précision du modèle numérique de terrain est bonne et plus les champs de vent calculés le sont. L'apport de capteurs virtuels comble les espaces vides et améliore la cartographie. Ce modèle diagnostique s'applique tout à fait à la période d'étude choisie marquée par un régime de brise thermique dans les Alpes-Maritimes.

#### **Bibliographie**

CARREGA P., 1994 : Topoclimatologie et habitat. *Revue d'analyse spatiale, Nice*, n° 35 et 36. 408 p. Publication Thèse d'Etat.

CARREGA P., 1995 : Une procédure d'identification automatique et en temps réel du régime de vent. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol 8, pp. 13-21.

CARREGA P., GLINSKY-OLIVIER N., 1997: Cartographie du vent à l'échelle locale : performances comparées de deux modèles numériques. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol 10, pp. 126-134.

ROSS D.G. and al. 1988: Diagnostic wind field modelling: development and validation. NERDDP, project n° 1040. Center for applied mathematical modelling, Chishlom Institute of Technology, Australia.

## VARIATIONS SPATIALES DU NDVI DE LA VÉGÉTATION EN KROUMIRIE ET AUX MOGODS (TUNISIE) EN 1999

M. FEKI \*, A. DOUGUEDROIT \* et V. DUBREUIL \*\*

\* Institut de Géographie, UMR 6012 ESPACE, Université de Provence,  
29 Av. R. Schuman 13621 Aix en Provence cedex 1,  
France; Tél: 00 33 4 42 95 38 71; Fax: 00 33 4 42 64 01 58

\*\*Université de Rennes 2, laboratoire Costel-LTETG, UMR 6564 CNRS, place du Recteur H. Le Moal 35043 Rennes,  
France,

Tel : 00 33 2 99 18 55 ; Fax : 00 33 2 99 14 18 95

mail: [m\\_feki@hotmail.com](mailto:m_feki@hotmail.com), [annickd@up.univ-aix.fr](mailto:annickd@up.univ-aix.fr), [vincent.dubreuil@uhb.fr](mailto:vincent.dubreuil@uhb.fr)

### Résumé

Nous proposons d'étudier, à l'échelle décennale, la variation de la sécheresse de la végétation, de mars à septembre 1999, à partir des images NOAA AVHRR. L'indice de végétation (NDVI) a été couplé avec la carte des couverts végétaux à l'aide du Système d'Information Géographique Idrisi.

**Mots clés:** NDVI ; végétation ; NOAA ; SIG ; Tunisie

### Abstract

The drought of the vegetation from March to September 1999 is studied from multitemporal series of NOAA-AVHRR data. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the vegetation map are overlaid with the GIS (Geographic Information System) Idrisi.

**Key word:** NDVI; vegetation; NOAA; GIS; Tunisia

### Introduction

Au nord-ouest de la Tunisie et à proximité des frontières avec l'Algérie, s'étendent les plus importantes forêts du pays. C'est la région montagneuse de la Kroumirie et des Mogods qui fait partie des gouvernorats de Jendouba, Béja et Bizerte (Figure 1). C'est le domaine par excellence des chênaies (chêne liège et chêne zeen).

Notre objectif est de suivre les variations spatiales de la sécheresse estivale de la végétation par télédétection, durant l'année 1999 (de mars à septembre) pour déterminer la période la plus propice aux incendies.

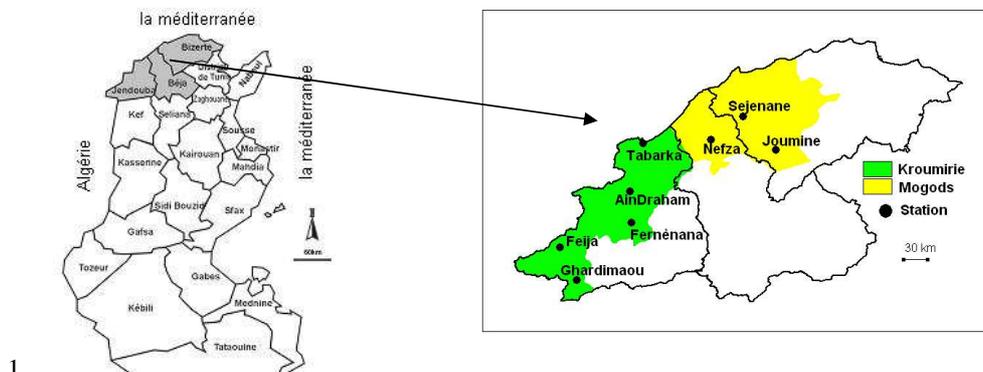


Fig. 7 : Localisation de la zone d'étude

La sécheresse, de mars à septembre 1999, a été évaluée par l'imagerie satellitaire NOAA AVHRR 14, avec une résolution de 1.1km<sup>2</sup>. Les images ont été fournies par le SATMOS (CMS, Lannion) sous forme de synthèses décennales de NDVI. Nous avons retenu cet indice, calculé à partir des

canaux 1 et 2 du capteur (visible et proche infrarouge). C'est un bon indicateur satellitaire pour une estimation du stress hydrique car il est en relation étroite avec l'activité photosynthétique et les paramètres du bilan hydrique (Choudury 1987).

Les données de végétation proviennent de la numérisation des cartes phyto-écologiques au 1/200 000, feuilles Tabarka-souk el arbaa et Bizerte-Tunis (Schöenenberger et Gounot 1967) et de la carte de l'inventaire forestier national et pastoral (IFNP Ministère de l'Agriculture, 1993).

Les données satellitaires ont été traitées par la méthode "maximum value composite": pour chaque pixel n'est conservée que la valeur maximale du NDVI pour la décennie, ce qui permet de limiter les problèmes liés à la navigation du satellite et à l'atmosphère (angle de visée, nuages, etc.).

Nous avons utilisé le système d'information géographique (SIG) *Idrisi*. Nous avons superposé sous ce logiciel les deux cartes phyto-écologiques avec celle de l'IFNP pour avoir une nouvelle carte plus récente au niveau de la classification et de la qualification des groupements végétaux (distinction entre forêts et matorrals). Les données du NDVI ont été, ensuite, croisées avec la nouvelle carte de végétation. Ainsi, nous avons pu calculer pour l'année 1999, de mars à septembre, le NDVI moyen de chaque type de végétation pour chaque décennie

## 1. Résultats

### 1.1 Evolution des NDVI décennaires pendant la saison chaude

La figure n°2 montre des différences des niveaux moyens des NDVI calculés pour toute la période de mars à septembre 1999 entre les forêts et les matorrals. Une hiérarchie en fonction de la biomasse et du taux de recouvrement de chaque couvert végétal a été observée. Les forêts ont des valeurs des NDVI moyens plus élevées que les matorrals (Feki et al. 2004).

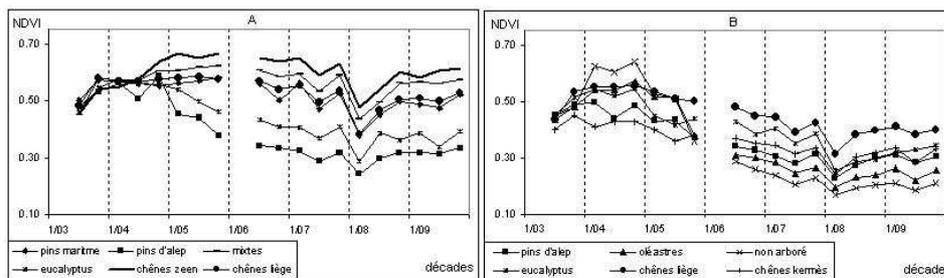


Fig. 2 : Evolution temporelle de l'indice de végétation par décennie (a = forêts; b = matorrals ; mixtes = mélange de chênes liège et de chênes zeen)

Les courbes temporelles de l'indice de végétation présentent une forme similaire liée à l'évolution de l'activité photosynthétique de la végétation (fig. n°2) : une croissance au printemps suivie par une décroissance en été et une reprise de la croissance à la fin de cette saison.

L'évolution saisonnière du NDVI montre pour les forêts une hausse dès le début du printemps. Les niveaux moyens, relativement faibles et très proches durant les deux premières décennies de mars (de 0.43 à 0.47), augmentent jusqu'à fin avril pour l'eucalyptus et le pin d'Alep (0.59 et 0.58, respectivement) et fin mai pour les autres forêts (de 0.58 à 0.66). Ils commencent à baisser à partir de mai ou de juin selon les groupements. Cette baisse est plus rapide pour l'eucalyptus et le pin d'Alep qu'elle ne l'est pour les autres forêts. Les niveaux moyens chutent entre mi-juillet et début août où les valeurs les plus faibles de l'année (de 0.24 à 0.48) ont été observées pendant la 1<sup>ère</sup> décennie de ce mois (sauf le chêne zeen). Ils commencent à remonter à la mi août pour retrouver en septembre les niveaux de juillet.

Les matorrals montrent aussi cette augmentation du NDVI du début du printemps, avec des niveaux moyens très proches en mars (comme les forêts, sauf le chêne kermès). Cette augmentation se

poursuit en avril et les fortes valeurs sont atteintes à la fin de ce mois (de 0.45 à 0.64). Le matorral non arboré se distingue par des niveaux moyens les plus élevés. Début mai s'amorce la baisse du NDVI qui chute brutalement en début août notamment pour les oléastres et le matorral non arboré (0.17 et 0.20 respectivement, de 0.23 à 0.31 pour les autres). Seul les niveaux moyens du chêne liège restent plus élevés que les autres matorrals. Les NDVI commencent à remonter à des niveaux antérieurs dès la 2<sup>ème</sup> décennie d'août.

### 1.2 Variations spatiales des NDVI moyens décennaires

Nous avons sélectionné deux décennies montrant les principales étapes de l'évolution du NDVI du mars à septembre (figure 3); le gris foncé indique les fortes valeurs et le gris clair les faibles niveaux. La planche de la 3<sup>ème</sup> décennie du mois d'avril (3/04) illustre la phase de croissance au printemps (tous groupements confondus). Celle de 1<sup>ère</sup> décennie du mois d'août montre plutôt la chute estivale des niveaux moyens.



Fig. 3 : Répartition spatiale des NDVI moyens décennaires.

3/04 est une décennie de maximum d'activité végétative notamment pour les matorrals (cf. 2.1). Elle montre cependant l'existence de quelques pixels de faibles valeurs (gris clair) en période de croissance végétative : il s'agit des chênes kermès qui occupent les dunes littorales. Celle du 1/08 montre une chute du NDVI pour les matorrals et les forêts de pin d'Alep et d'eucalyptus (gris clair). En fait, c'est la décennie de minimum activité photosynthétique pour toute la période mars-septembre 1999 ; les NDVI descendent à des niveaux inférieurs à ceux du début de printemps (mars). La 5<sup>ème</sup> classe (de 0.7 à 0.9) n'est pas représentée dans la figure car la valeur maximale du NDVI était de 0.56. Les pixels gris foncés (3<sup>ème</sup> classe) correspondent aux forêts de chêne zeen et, mixtes qui se rencontrent au-delà de 500m d'altitude, et dont les NDVI moyens sont supérieurs à 0.50.

La répartition spatiale des NDVI montre des zones de forts NDVI en août (gris foncé), et des zones de faibles en mars (gris clair). Il s'agit en effet des forêts de chêne zeen, mixtes et de chêne liège pour les noyaux des NDVI élevés ainsi que de la subéraie à chêne kermès (matorral élevé de 2 à 7 m), et du matorral à chêne kermès pour les foyers de faibles NDVI (Feki et al. 2005).

La répartition spatiale du NDVI montre aussi que les faibles NDVI sont plus fréquents dans les Mogods et la dépression de Nefza qu'en Kroumirie. Ils sont aussi plus présents sur le versant sud de la Kroumirie qu'ils ne le sont sur le versant nord (figure 3). Ce qui montre une grande variation spatiale de la répartition des NDVI entre la Kroumirie (Ouest) et les Mogods (Est). Elle correspond avec la variation spatiale de la répartition des groupements végétaux entre la Kroumirie couverte plutôt de forêts et les Mogods où matorrals sont fréquents, d'où des valeurs moyennes de NDVI plus élevées à l'ouest qu'à l'est de notre région, et sur le versant nord que sur le versant sud de la Kroumirie (Feki et al. 2005).

## Conclusion

Les différences des niveaux moyens du NDVI sont liées aux types des groupements végétaux. Elles sont le résultat d'une hiérarchie en fonction de la biomasse et du taux de recouvrement étant donné que les forêts sont plus denses que les matorrals. La variation spatiale des NDVI décennales entre la Kroumirie et les Mogods est aussi fonction de la hiérarchie entre les groupements végétaux et de leur répartition spatiale. La période propice aux incendies en 1999 a été de mai à septembre pour les matorrals et les forêts d'eucalyptus et de pin d'Alep, et de juin à septembre pour les autres forêts.

## Bibliographies

CHOUDURY B.J., 1987: relationship between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis is evaluated by a sensitivity analysis, remote sensing of environment, 22, 209-233.

FEKI M., DOUGUEDROIT A., et DUBREUIL V., 2004 : Suivi spatio-temporel de l'état hydrique de la végétation dans le nord-ouest de la Tunisie par imagerie satellitaire, in *Actes du XVII<sup>ème</sup> colloque de l'AIC : climat-mémoire du temps*, Caen, 35-38.

FEKI M., DOUGUEDROIT A., et DUBREUIL V., 2005 : Variations spatio-temporelles du stress hydrique estival de la végétation dans le Nord-Ouest de la Tunisie par imagerie satellitaire. In *acte du 4<sup>ème</sup> colloque du département de géographie de la faculté des Sciences Humaines et Sociales*, 10, 11 et 12 mars, Tunis, soumis.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE; 1993. : *Résultats du premier inventaire forestier national en Tunisie*. 88p

SCHOENENBERGER A. et GOUNOT M., 1967 : Carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale, échelle 1/200.000, feuille II : Bizerte - Tunis, feuille III : Tabarka - Souk el Arba, notice détaillée. *Annales de l'Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie*, vol. 40, fasc.1, 340 p.

## CLIMATOLOGIE AUX ECHELLES FINES DANS UN ENVIRONNEMENT REPRESENTATIF DU PANTANAL DE LA NHECOLANDIA (BRESIL) : EXEMPLE DE LA SALINE DU MEIO.

H. QUÉNOL<sup>1</sup>, M. FORT<sup>2</sup>, A. SAKAMOTO<sup>3</sup>, L. SAKAMOTO<sup>3</sup>, L. BARBIERO<sup>4</sup>,  
F. GRADELLA.<sup>3</sup> et V. BACANI.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université Rennes 2, UMR 6554 LETG du CNRS, Laboratoire COSTEL, Place du Recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes Cedex. [herve.quenol@uhb.fr](mailto:herve.quenol@uhb.fr)

<sup>2</sup> Université Denis Diderot, UMR 8586 du CNRS (PRODIG), Equipe Dynamique des Milieux et Risques, c.c.7001, 2 place Jussieu 75251 Paris Cedex 05. [fort@paris7.jussieu.fr](mailto:fort@paris7.jussieu.fr)

<sup>3</sup> IRD- Indo-French Cell for Water Sciences, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, 560 012 Bangalore, India. [barbiero@civil.iisc.ernet.in](mailto:barbiero@civil.iisc.ernet.in)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Departamento de Geografia, , Três Lagoas, Brazil. [sakamoto@ceul.ufms.br](mailto:sakamoto@ceul.ufms.br)

### RESUME

L'objectif de cette étude est de déterminer le climat d'une saline. L'expérimentation est réalisée avec 7 postes météorologiques fixes et des mesures itinérantes suivant un transect entre le centre de la saline et la prairie. Les premiers résultats montrent une forte variabilité spatiale de la température en relation avec le type d'occupation du sol (saline, plage, cordillère et prairie) et un système de brises diurnes et nocturnes. Ces résultats mettent en évidence l'existence d'un système microclimatique spécifique à la saline.

**Mots clés :** microclimat, saline, mesures fixes et itinérantes

### Abstract

The aim of this study is to identify the saline's climate. Experiments are done with seven fixed and unfixed meteorological sensors located along a transect starting from the centre of the saline to the limits of the grassland, crossing all landscape features. First results evidence a strong spatial variability of temperature according to land cover type (mud of the saline periphery, sand, savana vegetation and grassland) and a breeze system with diurnal and nocturnal alternation between the saline lake and the "cordillera". These results highlight the existence of a specific saline's microclimatic system.

**Key words :** microclimate, saline lake, fixed and mobile measurements

### INTRODUCTION

Le Pantanal de la Nhecolândia (Mato-Grosso) se caractérise par une mosaïque de paysages : succession de lacs salés ou acides, végétation de brousse arborée et de lande herbacée. Cet écosystème, réputé par la richesse de sa faune et de sa flore, classé patrimoine de l'humanité par l'UNESCO, est aujourd'hui menacé par de nombreux projets de développement et une expansion de l'agriculture (déforestation). Même si depuis quelques années plusieurs programmes de recherche ont été entrepris, les informations scientifiques restent rares et l'absence de compréhension d'ensemble du fonctionnement de cet environnement complexe n'aide pas à prévenir efficacement les menaces qui pèsent sur lui.

Dans le cadre du programme transdisciplinaire 412/03 CAPES/COFECUB, le fonctionnement hydrologique, physique et biochimique du Pantanal de la Nhecolândia est actuellement étudié. Parmi les thèmes traités jusqu'à maintenant, le comportement hydrologique des eaux de surface est l'un des plus importants notamment celui des lagunes (salées ou non salées) seuls points d'eau pour les animaux sauvages et le bétail au cours de la saison sèche. Or, depuis quelques années, le niveau de l'eau de ces lagunes a tendance à diminuer alors que la concentration en éléments toxiques (ex : arsenic, fluor) augmente.

Cette étude, menée dans la Fazenda Nhumirim (Nhecolândia), a pour objectif de déterminer les conditions climatiques propres à un milieu de saline et notamment d'évaluer le rôle du processus

d'évaporation sachant, qu'une étude régionale menée sur la Nhecolândia nous enseigne que le processus d'évaporation est responsable à plus de 90% des transformations chimiques.

### 1. Secteur d'étude et matériel de mesures

Le Pantanal de la Nhecolândia, se situe dans la partie sud de la plaine alluviale du fleuve Taquari River (fig. 1). Le site expérimental traverse diverses unités de paysage, partant d'une zone de prairie, traversant une « cordillère » (cordon sableux) sous forêt, une plage pour arriver sur les bords de la saline du Meio. Deux types de mesures ont été réalisées : les mesures en postes fixes et les mesures itinérantes. Sept postes météorologiques ont été implantés selon un transect allant du milieu de la saline du Meio jusqu'à la prairie en passant par la cordillère (fig. 2 et 3).

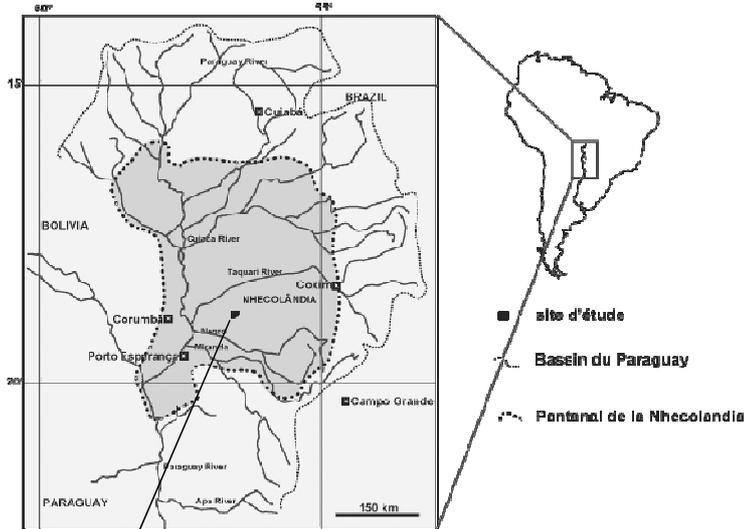


Fig 1: Localisation du site expérimental.

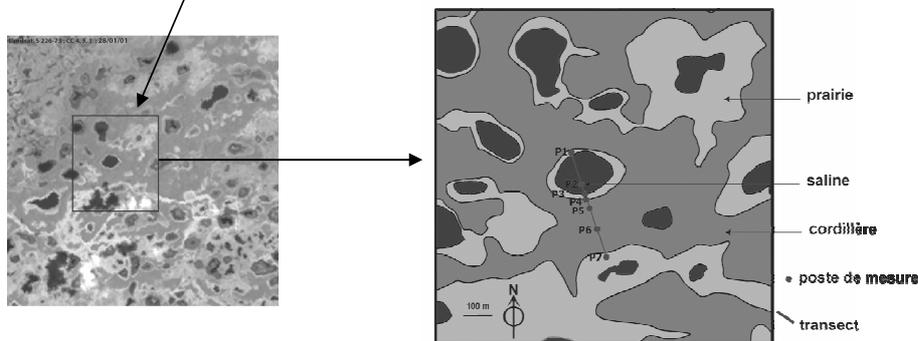


Fig 2: Caractéristiques du site d'étude et postes de mesures.

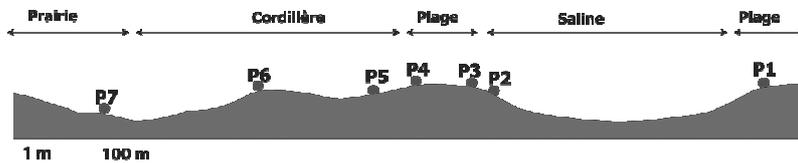


Fig 3: Caractéristiques topographiques des postes de mesures.

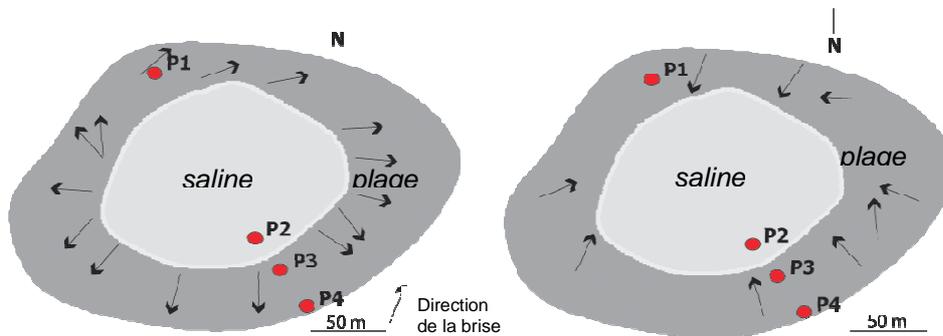
Sur chaque poste expérimental, un capteur de température et un capteur d'humidité relative enregistrent les données simultanément. Les stations automatiques fixes permettent d'une part d'obtenir des informations en continu et simultanément sur plusieurs points de l'espace étudié et, d'autre part, de mettre en évidence les variations climatiques en milieu de saline suivant les saisons et les différents types de temps. En complément des mesures en postes fixes, des relevés itinérants ont été effectués. Les mesures itinérantes permettent de pallier au manque d'information entre les postes fixes. Elles consistent à effectuer des relevés ponctuels sur divers points de l'espace étudié. Le principal inconvénient de cette technique est lié à la variation temporelle des facteurs météorologiques. En effet, il faut tenir compte que la plupart des variables météorologiques varient fortement sur un laps de temps très court. Par conséquent, l'intervalle entre chaque prise de mesures génère une part d'erreur non négligeable. Les campagnes itinérantes ont consistées à effectuer des relevés de température infrarouge du sol avec l'aide d'un radiomètre portable et des mesures de l'aérogologie locale (direction et vitesse du vent, système de brises diurnes et nocturnes).

## 2. Résultats

L'analyse des premiers résultats permet d'observer : a) la présence d'un système de brises alternées qui s'établit entre la saline et la cordillère ; b) une forte variabilité spatiale de la température et de l'humidité relative suivant l'environnement de la station (saline, cordillère, prairie). Ces résultats mettent en évidence la présence d'un système climatique local spécifique au milieu de saline.

Les mesures de température du sol montrent d'importantes différences entre la saline, la plage et la cordillère. Par exemple, le 16 octobre 2004 à 13h00, les températures de surface sont de 32°C sur la saline, de 43°C sur la plage et de 38°C sous la cordillère. La nuit, cette tendance s'inverse : la température de surface au niveau de la saline est plus élevée (28°C à 21h50) que celles relevées sur la plage (25°C) et sous la cordillère (26°C).

Le fort contraste thermique entre la saline, la plage et la cordillère engendre la formation d'un système de brises à alternance nyctémérale. Par exemple, le 14 octobre 2004 après-midi, les mesures effectuées avec une girouette en balsa (bois très léger) ont permis d'observer la présence d'une brise (vitesse inférieure à 1 m/s) entre la saline, la plage et la cordillère. La nuit, la direction s'inverse et la brise s'établit de la cordillère vers la saline. Ce phénomène est comparable à l'alternance d'une brise de lac et une brise de terre, mais à une échelle spatiale beaucoup plus restreinte puisque la présence de la cordillère (végétation d'une hauteur supérieure à 15 m) limite l'aire d'extension de la brise (fig. 4).



a) 14/10/2004 entre 15h45 et 16h30  
22h15

b) 14/10/2004 entre 21h45 et

Fig 4 : Mesures itinérantes de l'aérogologie diurne et nocturne à proximité de la saline du Meio.

L'analyse des températures relevées sur les postes fixes met en évidence une forte variabilité spatio-temporelle. Par temps clair et calme (type anticyclonique), l'influence de la saline est importante. Les températures nocturnes sont plus élevées à proximité de la saline et dans la cordillère (sky-view factor généré par les arbres) par rapport au poste situé dans la prairie. Par

exemple, les nuits du 19 au 25 juillet 2003 (ciel clair, vent faible), les températures minimales relevées sur le poste n°7 (prairie) sont inférieures entre 2 et 3°C par rapport aux postes situés en bordure de saline ou dans la cordillère. La nuit 26 au 27 juillet 2004, la présence d'un couvert nuageux a réduit les écarts thermiques entre les postes de mesures (fig 5a).

Durant la journée, les températures sont plus élevées sur les postes n°7 (prairie), n°3 et 4 (plage). Les températures maximales relevées sur les postes n°2 (bordure de saline) et n°5 (cordillère) sont 3 à 5°C plus basses par rapport aux autres postes. La proximité de la saline et la limitation du rayonnement solaire par la végétation de la cordillère expliquent les écarts thermiques relativement importants entre les différents postes expérimentaux.

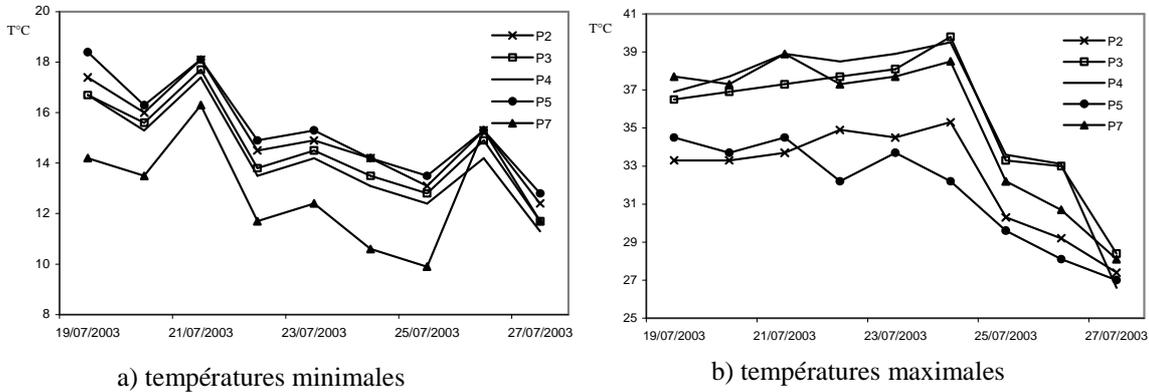


Fig 5 : Températures minimales (a) et maximales (b) entre le 19/07/03 et le 27/07/03.

## Conclusion

Les premiers résultats de cette étude de climatologie aux échelles fines mettent en évidence un climat spécifique aux abords de la saline du Meio. La forte hétérogénéité de l'occupation du sol (eau, sol nu, graminés, forêt) et l'environnement cloisonné (saline et plage en forme d'ovale entourées par une cordillère de végétation de 15 mètres de haut) engendrent des phénomènes thermodynamiques très localisés. L'installation en avril 2005 de deux stations météorologiques *Weather Monitor 2* (température, hygrométrie, vent, pression et pluviométrie) sur les postes 4 et 7 permettra d'aborder l'ensemble des paramètres météorologiques et de déterminer précisément le fonctionnement climatique dans cet environnement représentatif du Pantanal de la Nhocolândia.

## **PARTICULARITÉS DU MICROCLIMAT DANS LE CRATÈRE VOLCANIQUE CIOMADU**

**G. PANDI et V. SOROCOVSCHI**

*Université Babes-Bolyai, Faculté des Géographie,  
str.Clinicilor 5-7, Cluj, Roumanie, pandi@geografie.ubbcluj.ro*

### **Résumé**

Caractéristiques du microclimat dans le cratère volcanique Ciomadu. La masse d'eau du lac Sfânta Ana qui se trouve dans le cratère volcanique détermine un microclimat spécifique, subissant des influences aussi de la part des conditions du relief et du degré d'nébulosité du ciel. Les éléments du microclimat ont été étudiés à l'aide des mesurages expéditionnaires, avec deux stations portables. Les influences sont perceptibles dans le cours et l'amplitude de la température de l'air, dans la valeur et les particularités de l'humidité, dans la température du sol, dans le régime des vents.

**Mots clé :** lac de cratère volcanique, microclimat, température, l'humidité de l'air.

### **Abstract**

Characteristics of the Ciomadu Volcanic Crater's microclimate. The volume of the Sf. Ana Lake, and its volcanic character determine a specific microclimate, being influenced by the relief and the meteorological conditions (clouds) as well. The basic elements of this microclimate were studied and monitored here with expeditional monitoring, with two portable stations. The influences are visible in the variations and the amplitude of the air temperature, in the registered value and characteristics of the relative humidity, in the soil temperature, and in the wind conditions.

**Key words:** volcanic crater lake, microclimate, temperature, air humidity.

### **INTRODUCTION**

Le cratère volcanique Ciomadu se situe dans la partie centrale des Carpates Orientaux, dans une région où les influences du climat océanique de l'ouest interfèrent avec les influences continentales de l'est de l'Europe. La température moyenne annuelle se maintient autour de 5°C, le mois le plus froid est janvier (la moyenne est -5°C), alors que les mois le plus chauds sont juillet et août, qui se caractérisent par des valeurs moyennes comprises entre 16 et 18°C. L'influence du climat océanique se fait sentir par la quantité assez élevée de précipitations annuelles, qui se maintiennent entre 800 et 1000 mm.

Le cône volcanique possède un cratère double. Dans le premier se trouve le lac Sfânta Ana, alors que dans le second il y a le marais Mohoş. L'influence des lacs sur le microclimat des areales (=aires) limitrophes dépend du volume d'eau accumulé dans la cuvette, de la configuration du bord (/de la rive) et de celle des formes de relief marginales. Vu le fait que le lac Sfânta Ana possède une superficie de 195 000 m<sup>2</sup> et un volume de 786 000 m<sup>3</sup>, les modifications qu'elle apporte sur le climat se font sentir dans un environnement assez réduit.

### **1. L'ORGANISATION DES OBSERVATIONS EXPÉDITIONNAIRES**

À l'organisation des observations et à la mise en place des deux stations météorologiques nous avons pris en compte la position du lac, l'influence des conditions du relief et du degré d'obscurcissement du ciel. Pour la quantification des influences de la masse d'eau du lac Sfânta Ana sur le cours des éléments microclimatiques des mesurages expéditionnaires ont été effectués pendant l'été 2004, en utilisant deux stations météorologiques portables. Les stations ont été installées au bord du lac (à 945 m altitude) et à 1070 m, sur l'interfluve entre Mohoş et Sfânta Ana, dans une région sans forêt. La température et l'humidité relative de l'air ont été mesurées à 20 et à

150 cm, alors que la température du sol a été établie à la surface et à 20 cm de profondeur. Il a été procédé à des observations et à des mesurages concernant le degré d'obscurcissement du ciel par des nuages, concernant du vent.

Les conditions météorologiques imposent certaines particularités dans l'influence que le volume d'eau exerce sur l'environnement. Pendant la première période de l'intervalle d'analyse, lorsque le degré d'obscurcissement a été élevé, l'influence que le volume d'eau avait exercée sur le microclimat s'est définie par des amplitudes plus basses. Au contraire, pendant la seconde partie, lorsqu'il avait fait beau, les amplitudes des variations des éléments microclimatiques ont été beaucoup plus prononcées.

## 2. L'INFLUENCE DE L'UNITE LACUSTRE SUR L'EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR

L'examen de la variation des températures mesurées aux deux stations conduit à la constatation suivante : les valeurs mesurées à la station au bord du lac sont plus basses ou égales aux celles de la station installée à 1070 m. Pendant la première période, lorsque le ciel était couvert, les deux stations enregistrent des amplitudes très basses. Aussi bien à 20 cm qu'à 150 cm, les amplitudes de cette période ne dépassent pas 8°C, au bord du lac étant un peu plus bas. Les amplitudes journalières pendant la seconde période d'examen, lorsque le ciel était serein, sont beaucoup plus importantes, surpassant parfois même 15°C. Aussi bien à 20 cm qu'à 150 cm, les températures enregistrées à la station d'en haut dépassent de 2-6°C celles de la station du bord du lac, où l'on sent le rôle de régulateur exercé par l'eau accumulée dans la cuvette lacustre. Les maximales journalières ont été plus élevées à la station d'en haut.

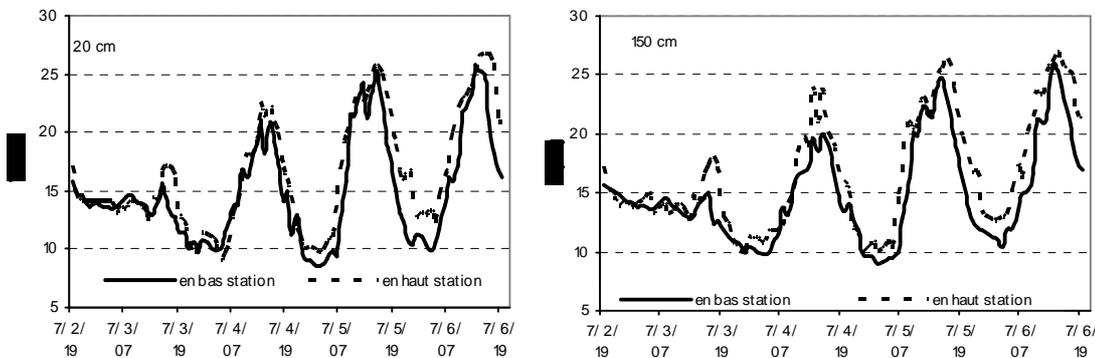


Fig. 1 : La variation de la température de l'air

## 3. L'INFLUENCE DE L'UNITE LACUSTRE SUR L'EVOLUTION DE L'HUMIDITE RELATIVE

À cause de l'apport permanent des vapeurs d'eau l'humidité de l'air a été plus élevée au bord du lac que dans le cas du sol environnant. Les différences sont moindres pendant la période couverte de nuages et pendant la journée. De cette manière, les données enregistrées montrent qu'à la station du bord du lac les valeurs de l'humidité relative de l'air ont surpassé de 20-30 % les valeurs de la station installée à 1070 m, où elles n'ont dépassé que rarement 70 %. Au contraire, pendant la journée, à la station du bord du lac l'humidité relative a constamment dépassé la valeur de 90 %. Pendant la nuit, l'humidité relative près du lac a enregistré une baisse considérable, se situant tout près des valeurs de la station au 1070 m (35-40 %), à cause des températures plus élevées de l'eau et de l'air d'en haut. Les intervalles à humidité plus élevée sont plus étendus dans la proximité du lac.

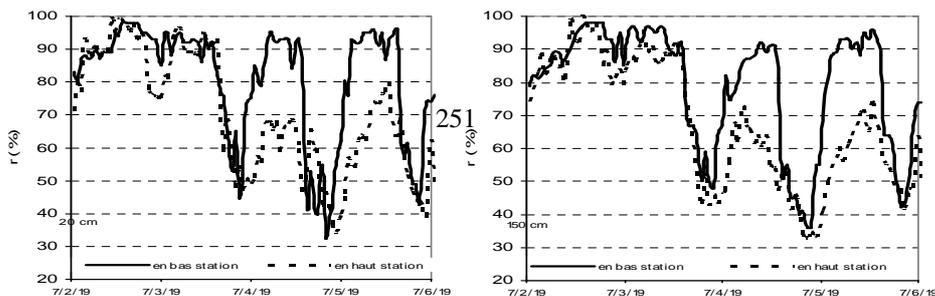


Fig. 2 : La variation de l'humidité relative

#### 4. L'INFLUENCE DE L'UNITE LACUSTRE SUR L'EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU SOL

À son tour, l'évolution de la température du sol met en évidence le rôle régulateur de la masse d'eau du lac. À la surface du sol les températures sont plus élevées à la station d'en haut, pendant la période à ciel couvert, mais aussi pendant l'après-midi et pendant la nuit. Le matin et avant midi les températures près du lac sont plus élevées de quelques degrés, à cause du fait que la masse d'eau cède avec retard la chaleur accumulée. L'augmentation de la température arrive de quelques heures du retard à la station d'en haut par rapport à celle au bord du lac.

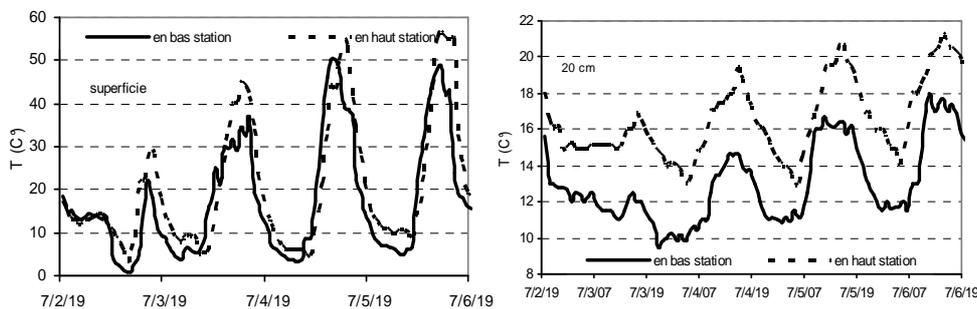


Fig. 3 : La variation de la température du sol

À 20 cm de profondeur dans le sol l'évolution de la température présente des moindres amplitudes, ce qui expose le rôle régulateur et protecteur du sol. Les courbes de variation sont presque parallèles. Les extrêmes de la station d'en haut ont été atteints avec un retard de quelques heures. Les amplitudes auprès du lac sont moindres, alors que les températures maximales et minimales présentent une durée plus longue. On observe dans le cas des deux stations les différences entre la première période, humide, à ciel couvert, et la seconde, sèche, à ciel non chargé.

#### 5. L'INFLUENCE DE LA POSITION DU LAC SUR LES CARACTERISTIQUES DU VENT

La dimension du lac et la configuration du cratère influencent les caractéristiques du régime du vent : direction, vitesse, intensité. Le rôle protecteur de la paroi escarpée du cratère, dominant le niveau du lac de 150-350 m, apparaît d'une façon très nette. Il résulte des observations prélevées que le nombre des cas sans vent a été plus élevé à la station dans la proximité du lac qu'à celle se trouvant à 1070 m d'altitude. Des vitesses sous 2 m/s ont été enregistrées plus souvent à la station du bord du lac, alors que les vitesses dépassant 4 m/s ont été distribuées de manière homogène. Au-dessus du lac c'est pendant la nuit que la vitesse maximale apparaît alors que la vitesse minimale apparaît pendant le jour, ce qui est le contraire de ce qu'il arrive au-dessus du sol. Le vent de l'ouest domine nettement à la station qui se situe sur l'interfluve (21 cas par rapport à 3) puisque celle-ci se trouve exposée à la circulation générale des masses d'air. La circulation à composante nordique a été trois fois plus fréquente à la station au 1070 m. À la station au bord du lac ce sont les vents du

nord et du nord-est qui ont présenté les vitesses moyennes les plus élevées (2,6 – 3,5 m/s). En échange, à la station de l'interfluve ont dominé les grandes vitesses des vents (plus de 2,5 m/s) se dirigeant vers le sud, le sud-ouest et le sud-est.

#### CONCLUSIONS

La conséquence principale de la présence de cette unité lacustre réside dans l'adoucissement du microclimat par la réduction des amplitudes thermiques journalières et par l'augmentation de l'humidité atmosphérique dans la région se trouvant dans la proximité du lac. Ce qui est de plus, l'influence du lac s'est rendu manifeste aussi dans les caractéristiques et le régime de la température du sol, plus accentué à la surface et plus diminué à 20 cm de profondeur. Les caractéristiques et le régime du vent dans la région du lac subissent tout premièrement l'influence de la position du lac dans le cadre du cratère volcanique et de sa configuration.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BREIER ADRIANA, MIHAI ELENA (1966), *Influența lacurilor asupra condițiilor climatice locale*, Hidrotehnica, Gosp.Apelor, Meteorologie, 12, București
- CIULACHE S.(1971), *Topoclimatologie și microclimatologie*, Fac. de Geografie și Geologie, Univ. București
- KRISTO A. (1995): *A Csomád-hegyecsopot*, Balaton Akadémia könyvek, Vörösberény
- PANDI G. (2004): *A Gyilkos-tó. Hidrogeográfiai tanulmány*, Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca
- VIGH MELINDA., PANDI G., SOROCOVSCHI V. (2004): *A Szent Anna-tó vízének hatása a mikroklimatológiai elemekre*, GEO 2004, Szeged

## LA DISTRIBUTION GLOBALE DES PRÉCIPITATIONS ET SES CHANGEMENTS DURANT LE 20<sup>ième</sup> SIÈCLE

L. JAEGER

*Meteorologisches Institut der Universität Freiburg, Werderring 20, D-79098 Freiburg / Allemagne*

### Résumé

Cet article présente la distribution spatiale et l'évolution annuelle moyenne des précipitations globales, qui sont un élément du cycle de l'eau. Ensuite, les changements des distributions à l'échelle globale sous les aspects du changement du climat, sont discutés.

**Mots-clés:** Précipitations globales, variations, bilans, corrections, changement climatique, simulation

### Abstract:

#### THE GLOBAL PRECIPITATION PATTERN AND ITS CHANGE IN THE 20<sup>TH</sup> CENTURY

Air temperature and measurable falling precipitation are meteorological parameters to be used in both observational climate statistics and validation (such as calibration) of general circulation models. The scientific attention and popularity directed to precipitation being a basic conservative element of climate may be explained by its relatively simple method of areal assessments, in contrast to more complicated estimates of energy balance components as, for example, net radiation or turbulent fluxes of latent heat, which would be often more appropriate to check any model output. The aim of this paper is to discuss the problems and limits of precipitation determination from observations and to present its temporal-spatial change above continents and oceans.

**Key-words:** Global precipitation, monthly areal patterns, corrections, climate change, simulations

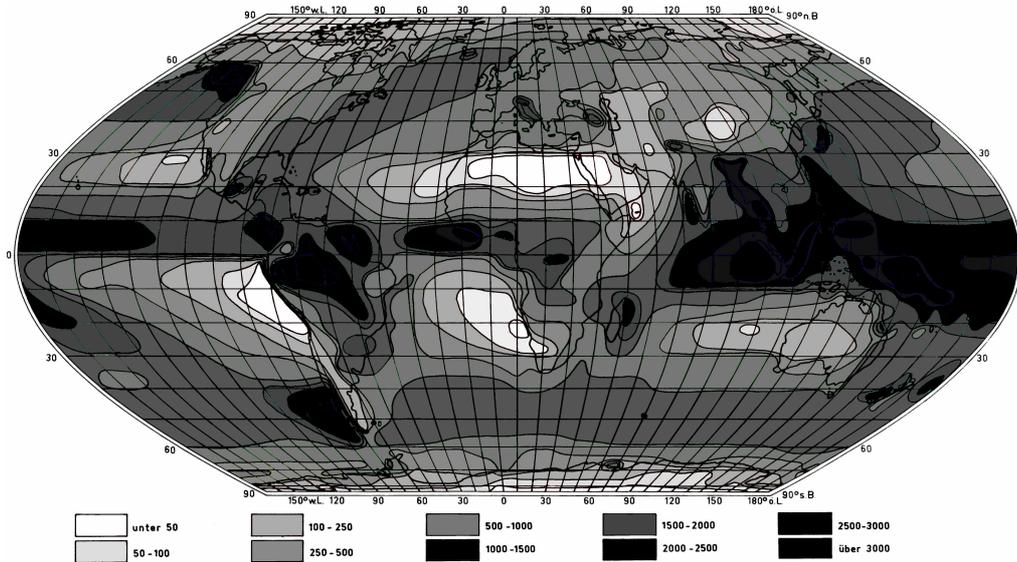
### INTRODUCTION

La température de l'air et les précipitations mesurables sont des paramètres météorologiques qui sont utilisés dans les domaines de la statistique du changement global et la validation (et la calibration) de modèles à l'échelle globale.

### 1. METHODES

La popularité et l'intérêt scientifique pour les précipitations comme élément météorologique conservateur peuvent être expliqués d'une part par ses méthodes de mesure relativement simple et d'autre part par ses méthodes de détermination de sa distribution spatiale, et ce contrairement à des facteurs climatiques sophistiqués (composantes du bilan d'énergie, par exemple le rayonnement net ou le flux turbulent de la chaleur latente) qui seraient plus appropriés pour vérifier des résultats de simulation du climat.

Il existe différentes méthodes pour mesurer les précipitations, que ce soit sur les continents, ou sur les surfaces océanographiques. Celles-ci sont présentées ici en relation avec les méthodes de correction. Sur les océans, on utilise de plus en plus des arithmétiques de télédétection, c'est à dire des mesures satellitaires. Mais ces changements méthodiques causent des problèmes climatologiques en homogénéité. Ensuite, quelques résultats de simulation des précipitations à l'échelle globale et européenne sont présentés.



Précipitations globales moyennes (mm par an), d'après Jaeger (1976)

## CONCLUSION

L'intention de cet essai est la discussion des problèmes et des limites liés à la détermination des précipitations, obtenues à partir d'observations et, de présenter leurs variations spatiales et temporelles au dessus des continents et des océans. Il développe aussi quelques aspects pour la recherche future.

## BIBLIOGRAPHIQUE

- CHOISNEL, E., 1997: Le cycle de l'eau: Processus physiques et aspects planétaires. *La Météorologie*, 8, 12 – 30.
- HUFTY, A., 2001: Introduction à la climatologie. De Boeck Université, Bruxelles. 542 pp.
- HUPFER, P., JAEGER, L. et KESSLER, A., 2005: 100 Jahre globale Wasserbilanz von Eduard Brückner, eine kritische Würdigung aus heutiger Sicht. *Erdkunde*, à paraître.
- JAEGER, L., 1976: Monatskarten des Niederschlags für die ganze Erde. *Ber. Dt. Wetterd.* 139, 39 pp.
- JAEGER, L., 1983: Monthly and areal patterns of mean global precipitation. Dans: STREET-PERROTT, A., BERAN, M. et RATCLIFFE, R., (ed.): Variations in the global water budget. Reidel, Dordrecht, Boston, Lancaster, 129 – 140.
- JAEGER, L., 2005: Die globale Niederschlagsverteilung und ihre Veränderung im 20. Jahrhundert. Dans: LOZÁN, J.L., GRABL, H., HUPFER, P., MENZEL, L. et SCHÖNWIESE, CH.-D. (ed.): Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? *Wissenschaftliche Auswertungen*, Hamburg, 310 – 317.

## **THEME 4**

# **CLIMAT ET HOMME**



## INTERPRETATION CLIMATIQUE D'UN ESSAI D'ASSOLEMENT A LONG TERME EN RCA

**R. MOREL**

*Ingénieur Général d'Agronomie (C.H.)*

19 Rue Henri LOT 91860 EPINAY SOUS SENART

tél. 33 (0)1 60 47 29 98 E mail : bobmorel@tele2.fr

### Résumé

Des essais sur longue période montrent qu'une longue jachère n'est pas nécessaire pour conserver la fertilité des sols. Les variations de production ont été analysées avec l'évolution physico-chimique des sols. Nous tentons ici d'expliquer par le climat une partie des fluctuations interannuelle.

**Mots-clés :** Afrique centrale, Arachides, Coton, Maïs, Riz, Pluies, Excès d'eau, Insolation,

Abstract

Tests on long period show that a long fallow is not necessary to preserve the fertility of soils. Variations of production have been analyzed with the physicochemical evolution of soils. We tempt to explain by the climate a part of yearly fluctuations here. The only water balance, even modulated by soil water storage, doesn't explain variability completely. It is necessary to introduce other climatic factors as the sunstroke or hydraulic saturation of the land.

**Word-keys:** Central Africa, Peanuts, Cotton, Maize, Rice, Rains, Water excess, Sunshine,

### Introduction.

Des essais ont été menés pendant 15 ans pour suivre l'évolution de la fertilité des sols tropicaux avec des pratiques anti-érosives (Grimari, 1954-1968). Neuf plantes cultivées sont testées mais nous ne retenons ici que les plus courantes dans le pays. Les variations de productivité ont été associées aux fluctuations des caractéristiques physico-chimiques des sols. Dans l'analyse des résultats les différences interannuelles figurent comme erreur. La présente étude tente de leur donner des explications climatiques.

#### 1. Variabilité des mesures.

Les rendements présentent des valeurs très dispersées du fait des différentes plantes testées (figure 1), des traitements agronomiques et des écarts interannuels. Le dispositif expérimental en blocs avec subdivision des parcelles a permis d'identifier les sources de variation et les groupes d'erreurs (Morel et al., 1972). Mais les saisons significativement différentes à  $P=0,001$  n'ont pas été étudiées au plan agroclimatique.

#### 2. La disponibilité en eau.

La pluviométrie est le premier facteur explicatif car elle est source de l'alimentation en eau des cultures (figure 2). Le bilan hydrique (Bonnal, 2002) calculé pour chaque cultures aux dates de semis pratiquées dans l'essai fournit des indices à comparer avec les rendements. On tient compte de la réserve utile du sol suivant sa profondeur, sa nature et son occupation par les racines (Combeau et al, 1963). Les bilans hydriques calculent, pendant le cycle végétatif, les déficiences éventuelles de la disponibilité en eau des cultures. L'étendue des indices issus des bilans varie d'une plante à l'autre : 80% avec le maïs, 25% avec le riz, suivant le rôle du climat.

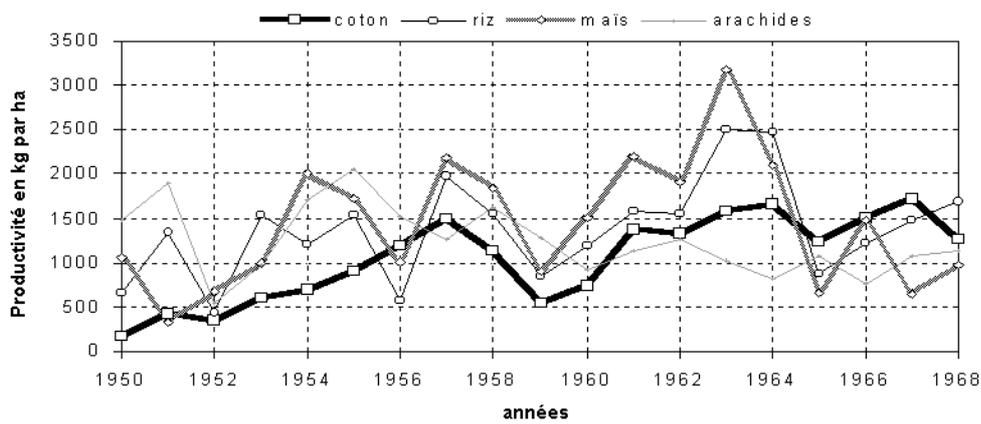


Figure 1 : Variations interannuelles des rendements

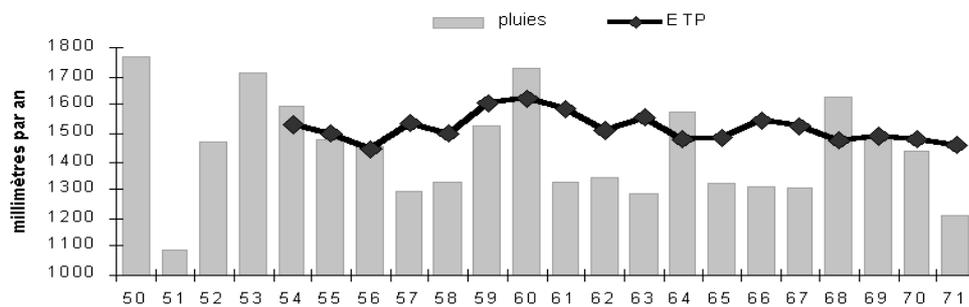


Figure 2 : pluies et ETP Penman annuelles

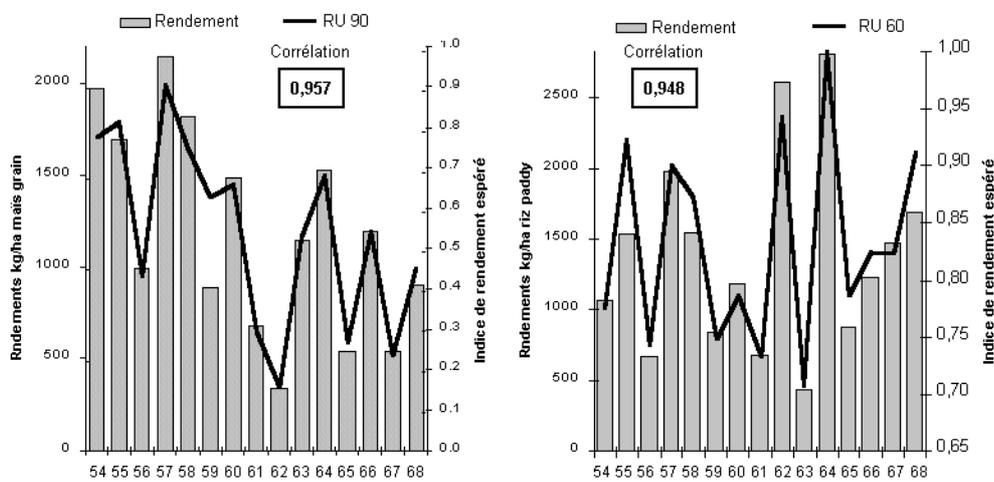


Figure 3 : Variabilité des bilans des céréales

Dans les figures on ajuste les deux échelles pour faire coïncider le mieux possible les deux séries représentées. Les dates de semis et les durées de végétation produisent des résultats parfois contrastés (figure 3) comme pour les maïs et le riz en 1962. Le maïs de 110 jours est semé la première décennie s'avril, le riz de 120 jours est mis en place entre le 25 juin et le 5 juillet. Les corrélations sont bonnes  $R=0,957$  pour le maïs et  $R=0,948$  pour le riz. Mais avec les autres cultures l'ajustement est moins bon  $R=0,872$  pour l'arachide et  $R=0,856$  pour le cotonnier.

### 3. Les autres facteurs climatiques.

#### 3.1. L'ensoleillement.

Les écarts qui apparaissent entre les bilans hydriques et les rendements s'expliquent par l'influence d'autres paramètres climatiques. Le rôle de l'ensoleillement sur l'initiation florale est très important sur les arachides (figure 4) car une faible luminosité ne permet pas l'apparition des fleurs. Ainsi un déficit d'insolation en 1956 explique un rendement observé plus faible que l'espérance calculée par le bilan hydrique. Au contraire en 1967 un meilleur éclairage majeure la production grâce à une floraison plus abondante. C'est l'ensoleillement qui occasionne de plus faibles rendements si on cultive les arachides en arrière saison. Ce phénomène se retrouve dans une moindre mesure sur le cotonnier qui possède une inflorescence indéfinie.

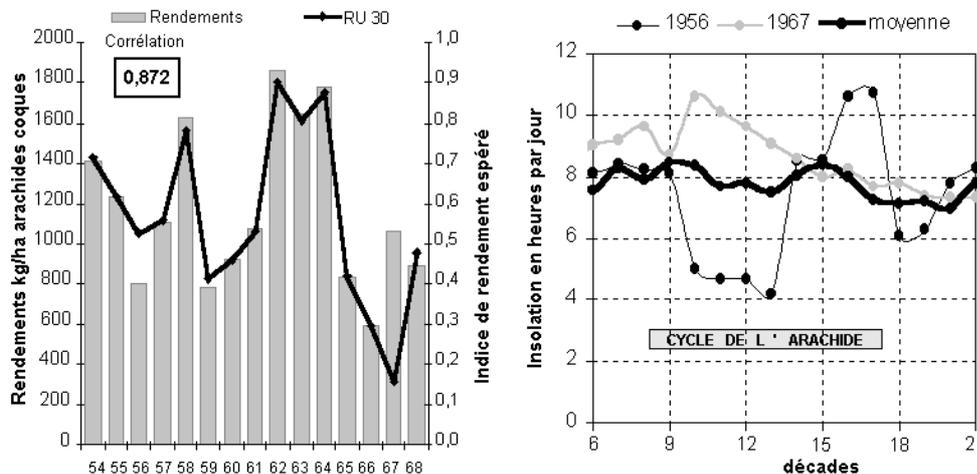


Figure 4 : Cas des arachides

#### 3.2. L'engorgement du sol.

Les mesures anti-érosives ont pratiquement éliminé le ruissellement des pluies en excès. La destinée de l'eau devient la percolation verticale ou oblique suivant les situations topographiques. Dans ces conditions la vitesse d'infiltration, inversement proportionnelle à la capacité de rétention (Quantin 1965), conditionne les durées de saturation de l'horizon cultivé. Cet engorgement possible du sol peut nuire à la productivité des cultures. C'est le cas du coton qui subit une chute des capsules pendant leur phase de grossissement. Ceci explique les écarts constatés les années pluvieuses entre les calculs de bilan hydrique et les mesures au champ (figure 5). Le nombre de jours pendant lesquels les racines sont en conditions d'asphyxie des racines permet d'estimer la baisse de productivité. Ainsi en 1960, il y a eu 9 jours de saturation pendant le mois de septembre.

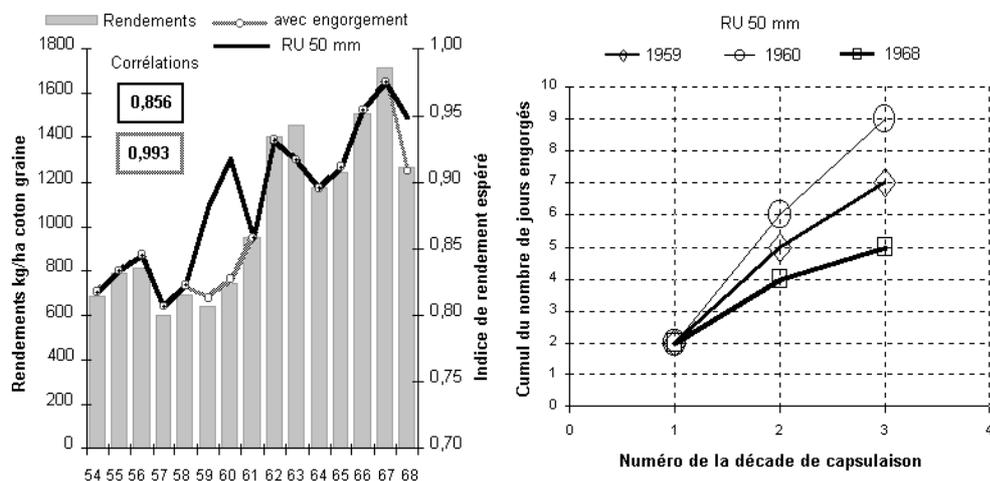


Figure 5 : Cas du cotonnier

### 3.3. Les températures.

Les températures restent comprises entre des valeurs qui n'entraînent pas d'accident. Mais la somme des températures reçues par les cultures, notamment avec le maïs influent sur la croissance. Pour le maïs on calcule les sommes de la fraction de température au dessus d'un seuil de 10°C. Ces sommes sont comprises entre 2160° et 2443° C pour un maïs de 110 jours. Leur introduction dans le modèle améliore la représentativité du climat et la corrélation passe de R=0,957 à R=0,977.

### Conclusion.

Le seul bilan hydrique, même modulé par la réserve hydrique du sol, n'explique pas totalement la variabilité interannuelle. Il faut introduire d'autres facteurs climatiques comme l'insolation, la saturation hydraulique du terrain. La somme des températures au dessus d'un seuil caractérisant chaque cultivar. Il serait souhaitable de poursuivre le travail sur les autres cultures : sésame, manioc, courges, sorgho et engrais verts. Cette approche agroclimatique montre l'intérêt des nombreuses observations existantes pour entreprendre des analyses plus détaillées.

### Bibliographie

- BONNAL V., 2002, SARRAH V2.3 Manuel utilisateur 54 pages CIRAD Montpellier
- COMBEAU A., QUANTIN P., 1963, Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapprochement avec les courbes de pF- Humidité, Science du sol N° 1, mai 1963 p 5-11.
- Grimari (Station Expérimentale Agricole de), 1954 à 1968, Rapports annuels de 1960 à 1968 , Service de l'Agriculture, Bangui, République Centrafricaine
- MOREL R., QUANTIN P., 1972, Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari .Résultats d'essais de culture mécanisée semi-intensive sur des sols rouges ferrallitiques moyennement désaturés en climat soudano-guinéen d'Afrique centrale, L'Agro-nomie Tropicale vol XXVII, n° 6-7, p. 667-739 Paris
- QUANTIN P., 1965, Les sols de Grimari. Notice de la carte pédologique de reconnaissance à 1/50.000, ORSTOM, Paris

## LA VEILLE AGRO-CLIMATIQUE EN FRANCE : UN EXEMPLE D'EXPLOITATION OPERATIONNELLE D'UN MODELE DE CULTURE

F. HUARD <sup>(1)</sup>, N. BRISSON <sup>(2)</sup>, P. CLASTRE <sup>(2)</sup>, J-P. GUINOT <sup>(2)</sup>, F. RUGET <sup>(2)</sup>,  
B. SEGUIN<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INRA, Unité AgroClim, Avignon, <sup>(2)</sup> INRA, Unité CSE, Avignon

### Introduction

Suite à la canicule de 2003, la question des conséquences agricoles d'événements climatiques de grande ampleur a été de nouveau posée. Plutôt que d'y répondre au cas par cas, un projet de veille agro-climatique utilisant le modèle de culture STICS et les données de différentes stations agrométéorologiques du réseau AgroClim a été élaboré, le résultat étant matérialisé sur un site internet : [www.avignon.inra.fr/veille-agroclimatique](http://www.avignon.inra.fr/veille-agroclimatique). Il s'agit d'une approche purement climatique car l'objectif est de fournir une interprétation et un suivi agronomique de la variabilité climatique à l'échelle du territoire dans un contexte temporel en évolution. Dans cet esprit, l'agriculture a été "standardisée" et simulée par des choix raisonnables mais limités de cultures, itinéraires techniques et sol. Le climat est le seul facteur de variation, les autres composantes étant considérées comme invariantes. Les résultats sont fournis chaque année après les récoltes.

### Données et protocole

Les simulations ont porté sur sept cultures représentatives de la diversité de la production agricole et dix sites représentatifs des différents climats hexagonaux sur lesquels on dispose de relevés depuis une trentaine d'années minimum (Base de Données AgroClim). Pour essayer de dégager des tendances lourdes, liées entre autre au changement climatique, chaque série est décomposée : avant et après 1990 (année charnière, démontré par plusieurs études agroclimatiques) et les années récentes étant individualisées depuis l'année 2003.

Un protocole a été adopté utilisant un itinéraire technique standard tout en différenciant deux régions (Nord et Sud).

### Résultats

Les résultats portent sur différentes familles de variables :

| <u>Agricoles</u> | <u>agronomiques</u>         | <u>agro-climatiques</u> | <u>environnementales</u> |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| - durée de cycle | - indice de stress hydrique | - pluie                 | - réserve en eau         |
| - rendement      | - indice de stress azoté    | - rayonnement           | - réserve en azote       |
| - qualité        | - indice synthétique        | - ETM                   |                          |
|                  | - nb de jours de froid      | - température moyenne   |                          |
|                  | - nb de jours d'échaudage   | (> base de tempé.)      |                          |

Les résultats sont sous forme de graphiques élémentaires et synthétiques. Dans le premier cas, l'utilisateur sélectionne dans un premier temps une variable, puis choisit d'accéder aux résultats soit d'un site précis (toutes les cultures seront alors représentées) soit d'une culture en particulier (et ainsi pour tous les sites). Pour les graphiques synthétiques, seuls la durée de cycle, l'indice synthétique, la température moyenne et l'état de la réserve en eau sont visualisables. Dans ce cas, les résultats sont présentés, pour la culture choisie, pour chacune des époques (avant 1990, 1990-2002, 2003, 2004...) et tous les sites.

## **Conclusion**

Cette veille agro-climatique va être poursuivie en 2005 et les résultats mis à jour sur le site Internet. Il s'agit avant tout d'un outil ayant pour vocation la mise en évidence, en différents sites, de l'influence du climat sur les variables agricoles, agronomiques et environnementales à partir du modèle de simulation des cultures STICS. Nous avons choisi "l'agro-climat" comme seul facteur de variation dans notre postulat, les autres composantes étant ainsi considérées comme invariantes.

## LE POÈTE LATIN OVIDE ET LE CLIMAT DU PONT EUXIN

E. TEODOREANU

*Bd. Lascar Catargiu, nr. 24-26, sc. A, ap. 16, București, 010672, Roumanie*  
[geo@pcnet.ro](mailto:geo@pcnet.ro)

### Résumé

Le grand poète latin Ovide a été exilé à Tomis (aujourd'hui Constanța, Roumanie). Il a écrit les élégies connues "Épîtres d'exil" où il décrit le climat rude du bord de Pont Euxin (actuellement, la Mer Noire). Nous analysons les informations climatiques de poésies d'Ovide, pour voir s'il est possible de les utiliser pour la connaissance du climat de l'antiquité.

**Mots-clés:** poète latin, Ovide, climat ancien, Pont Euxin

### Abstract

The great Latin poet Ovid was exiled at Tomis (to-day Constanța, Rumania). He wrote the well-known elegies "Letters of exile", where he describe the harsh climate on the shore of Pontus Euxinus (now Black Sea). We analyze the climatic information in order to see if they can be use to study the ancient climate.

**Key-words:** Latin poet, Ovid, climate ancient, Pontus Euxinus

### Introduction

Si on s'intéresse aux époques historiques antiques ou médiévales, avant l'invention des instruments de mesure des paramètres climatiques, on peut se servir, entre autres, des informations contenues dans les documents et archives, registres de villages, paroisses, propriétés foncières, journaux de voyage ou littéraires

#### 1. Le destin d'Ovide : source d'informations climatiques.

Un événement personnel, à savoir l'exil du poète latin Publius Ovidius Naso à Tomis (aujourd'hui Constanța, en Roumanie) a déterminé l'apparition dans le bagage culturel universel de l'œuvre « Épîtres d'exil », notamment Les Tristes et Les Pontiques, dans lesquels, l'auteur fait un exposé sur sa vie au milieu des barbares et, ce qui peut être une source d'information, sur le climat de la région. C'est intéressant de voir la perception d'un citoyen romain sur le paysage et l'atmosphère existant 2000 ans auparavant, dans la région qui est actuellement le littoral roumain de la Mer Noire.

Ovide est né à Sulmone, le 13 des calendes d'avril 711 ab urbe condita (20 mars 45 av. J. Chr.). Il a été élevé à Rome où il est devenu avocat, mais il s'était perfectionné à Athènes dans le domaine des lettres et philosophie. Il a fait carrière au barreau, en plaidant avec succès, mais il a refusé d'être sénateur, irrésistiblement attiré par la poésie, qui l'a consacré, mais qui est probablement une des causes de son destin malheureux de plus tard.

Il a écrit des élégies érotiques et des poèmes didactiques (Art d'aimer, Remède d'amour), des chefs-d'œuvre d'inspiration mythologique (Métamorphoses, Héroïdes), des commentaires poétiques des grands événements historiques (Fastes). Il était riche, il possédait plusieurs beaux domaines à Sulmone et une maison à Rome, près du Capitole. Il était célèbre, il jouissait des faveurs de prince, ses vers faisaient les délices de Rome, il était adoré par les femmes. Et tout de même, un ordre d'Auguste le reléguait sur le bord du Pont Euxin, dernière frontière de l'empire à Tomis, parmi les barbares incultes, sur une terre étrangère et sauvage, perpétuellement glacée. Le motif du châtement reste encore aujourd'hui confus : on suppose qu'Auguste, un de plus grands empereurs romains, a voulu supprimer les mœurs dépravées de l'aristocratie romaine et il considérait qu'Ovide y avait contribué avec ses poèmes érotiques. On estime aussi qu'Ovide a été, non seulement le témoin,

mais le complice des adultères et d'incestes passés même au sein de la famille de l'empereur. Il existe encore une supposition relative à l'adhésion d'Ovide à un culte pythagorique, hypothèse suggérée dans le roman de Vintilă Horia « Dieu est né en exil » (prix Goncourt, 1960), un journal apocryphe du poète de ces années de vie.

Donc dans une nuit de novembre de l'an 8 après J. Chr., âgé de 52 ans, Ovide commence son chemin d'exil sur un navire qui traverse par temps de tempête la Mer Adriatique, puis il aboutit en Grèce et traverse l'isthme de Corinthe, Hellespont (Dardanelles) à pied il traverse la Thrace, puis il passe par le Bosphore et il arrive sur le bord occidental du Pont Euxin, à Tomis, près des bouches d'Istres (le Danube, actuellement)

## 2. Le lieu d'exil

Là, Ovide passera ses dernières huit années de vie, envoyant sans cesse des épîtres pleines de désespoir à Rome, pour amollir le cœur de l'empereur dans l'espoir de se faire pardonner. En 14 après J. Chr., Auguste mourut subitement et Tibère, son fils adopté, lui succéda. Tibère ne répond pas aux espérances d'Ovide. Au contraire, il installe une époque de terreur ressentie jusqu'aux frontières de l'empire.

Tomis était une ville grecque, fondée sept siècles auparavant par les colons de Milet. Pendant le temps d'Ovide, Tomis était tombée en possession de Gètes et il participait, près des autres villes grecques de la région, à la lutte contre les romains qui étaient arrivés dans la Dobroudja d'aujourd'hui, entre le Danube et la Mer Noire.

D'un paysage fleuri, luxueux, avec un climat doux, méditerranéen, Ovide est jeté dans un paysage sauvage, au climat rude, connu par les antiques. Ainsi, Diodor de Sicile écrivait que dans le nord du Pont Euxin se trouvait la limite nord de la Terre habitée, la terre sauvage et perpétuellement glacée des Scythes, pendant qu'aux confins sud de l'Egypte, se trouvait la limite sud de la Terre habitée, brûlée par un soleil impitoyable (Boia, 2004). Il était entouré des hommes à la voix rude, au regard féroce, sans cesse menacés, attaqués par les Sarmates

## 3. Le climat du Pont Euxin, selon la vision d'Ovide.

Le climat était digne des habitants et le poète se plaint toujours de ce climat inhospitalier. Il ne voyait en effet que des campagnes sans verdure, de printemps sans fleurs, des neiges et des glaces éternelles. Les Sarmates conduisaient sur le Danube et sur la mer des chariots attelés à des bœufs. Les longs cheveux et la barbe qui cachait leur visage retentissaient de cliquets de glaçons. Le vin endurci par le froid ne se versait pas, mais se coupait avec le fer.

Il s'était mis à apprendre la langue de ces peuples barbares et il a écrit en langue gète un long poème consacré à l'éloge d'Auguste – malheureusement, aujourd'hui disparu. Transportés d'admiration, les Sarmates voulurent célébrer une fête publique en son honneur et lui décernèrent la couronne de lierre (hedere), consacrée aux poètes élégiaques. Mais la vie resta dure. Voilà ce qu'il écrit dans le troisième livre, élégie X, ( d'après la traduction de M. Nisard, 1892):

*Tant que dure la saison des tièdes zéphyr, le Danube nous sert de barrière, nous protège contre leurs invasions ; mais quand le sombre hiver a montré sa figure dégoûtante de frimas et que la gelée a rendu la terre pareille à un marbre d'une blancheur éclatante ; quand Borée se déchaîne, que la neige s'amoncelle et inonde les régions septentrionales, alors on voit peser sur ces peuples le pôle ébranlé par les tempêtes. La neige couvre la terre et alors ni soleil ni pluies ne le peuvent dissoudre : Borée la durcit et la rend éternelle. Avant que la première soit fondue, il en tombe une nouvelle et il est assez commun d'en voir, sur plusieurs points, de deux années différentes L'Aquilon, une fois déchaîné, est d'une telle violence qu'il rase des tours et emporte des maisons. Des peaux, des braies grossièrement cousues, les garantissent mal du froid ; leur visage est la seule partie du corps à découvert. Souvent on entend résonner, en se choquant, les glaçons qui hérissent leur chevelure ; souvent on voit luire dans leur barbe le givre argenté. Le vin se soutient par lui-*

*même hors du vase qui le contenait et dont il conserve la forme ; et ce n'est plus une liqueur que l'on boit, ce sont des morceaux que l'on avale.*

*Dirai-je comment les ruisseaux sont condensés et enchaînés par le froid et comment on creuse les lacs pour puiser une eau mobile ? Ce fleuve même, aussi large que celui qui produit le papyrus et se décharge dans la mer par plusieurs embouchures, l'Ister, dont les vents glacés durcissent l'azur, gèle et se glisse furtivement dans les eaux de l'Euxin. On voguait le navire, on marche d'un pied ferme et l'onde solide retentit sous le pas des coursiers. Sur ces ponts d'une nouvelle espèce, au-dessous des quels poursuit son cours, les bœufs du Sarmate traînent des chariots grossiers. Sans doute on aura peine à me croire, mais qui n'a point intérêt à mentir doit être cru sur parole. J'ai vu le Pont Euxin lui-même immobile et glacé et ses flots captifs sous leur écorce glissante ; et non seulement je l'ai vu, mais j'ai foulé cette mer solide et marché à pied sec sur la surface des ondes.... Borée agite en vain ses ailes avec fracas, aucune vague ne s'émeut sur le gouffre assiégé ; les vaisseaux, entourés par la glace, comme par une ceinture de marbre, restent fixés à leur place et la rame est impuissante à... fendre la masse durcie des eaux. J'ai vu arrêtés et enchaînés dans la glace des poissons dont quelques-uns même vivaient encore. Soit donc que le froid gèle la mer ou les eaux du fleuve débordé, nos barbares ennemis traversent sur leurs coursiers rapides l'Ister transformé en une route de glace et aussi redoutable par leur monture que par leurs flèches d'une immense portée, ils dévastent les campagnes voisines dans toute leur étendue. Les habitants s'enfuient et la terre, abandonnée par ses défenseurs, est à la merci des barbares et dépouillée de ses trésors..., le sol abandonné reste toujours en friche. Le doux raisin n'y mûrit jamais à l'ombre de ses feuilles et le vin n'y fermente pas... dans tout le pays... on y voit toujours les champs dépouillés d'arbres et de verdure : enfin c'est une contrée dont l'homme heureux ne doit jamais approcher. Eh bien, dans toute l'étendue de l'immense univers, c'est là le lieu qu'on a trouvé pour mon exil!*

On se demande si on peut croire et employer les informations sur les hivers du Pont Euxin. En général on dit que le climat d'il y a 2000 ans était semblable au climat d'aujourd'hui. Oui, il y avait des hivers rudes et pendant le Moyen Age, jusqu'à nos jours. On peut comparer les descriptions d'Ovide avec les informations de voyageur arabe Ibn Batutah dans la Dobroudja pendant l'hiver de 1333-1334 aux notes de Paul de Alep, le secrétaire du patriarche Macarios d'Antiochie, pendant son voyage dans la Valachie de 1653-1658, et avec beaucoup d'informations de voyageurs étrangers, diplomates, hommes de lettres, en train de traverser les Pays danubiennes. (Teodoreanu, 1983)

#### **4. Le climat d'aujourd'hui sur le littoral de la Mer Noire.**

Maintenant aussi il y a des hivers rigoureux sur le littoral de la Mer Noire. La température minimale absolue a été  $-25^{\circ}\text{C}$  le 10 février 1929, mais on a enregistré et  $-24,7^{\circ}\text{C}$  le 25 janvier 1942. Au cours d'une période de 120 années, à Constanța on a consigné plus de 10 mois avec des températures moyennes mensuelles sous  $-5^{\circ}\text{C}$  et il y avait des cas dans lesquels on a vu la mer gelée jusqu'à l'horizon. Aussi on reconnaît dans les descriptions de Borée et d'Aquilon, le vent froid et sec de nord-est (en roumain Crivăț) qui souffle avec violence lors des jours d'hiver, en apportant des masses d'air froid de l'anticyclone de la plaine russe ou même des régions de l'ouest de la Sibérie. A la rencontre des masses d'air plus chaudes et plus humides des cyclones méditerranéens, sur toute la région sud-est de la Roumanie se produisent de grandes tempêtes de neige avec congères de quelques mètres qui rendent difficile les communications et la vie des habitants.

Mais il y a la phrase soulignée dans la troisième élégie qui attire notre attention. Dans ce cas, le climat du Pont Euxin pendant la vie d'Ovide était comme celui de plus hauts sommets des Carpates ou, dans les années les plus froides, on peut voir sur quelques vallées étroites et ombragées la neige de l'hiver précédent. Ovide aussi écrit qu'il n'y a pas d'arbustes et de verdure. Mais Hérodote, en écrivant sur la campagne du roi persan Darius contre les Scythes près du Danube, raconte que ses soldats ont rencontré ici des champs cultivés plus hauts que l'homme à cheval. Aussi l'armée d'Alexandre le Grand, en traversant la Thrace vers l'Inde, a été obligée de couper le blé avec des

lances, pour progresser. En ce qui concerne le fait qu'il n'y a pas de raisin dans le pays de Daces, on sait que le grand roi Burebista, d'après le conseil de son prêtre et ministre Deceneu, a ordonné à ses sujets de détruire les ceps de vigne pour en terminer avec les excès de boisson.

L'explication d'informations incroyables d'Ovide, sauf sa détresse, se trouve dans le désir de convaincre l'empereur qu'il est exilé dans un lieu où il est impossible de vivre, pour obtenir la liberté de revenir dans sa Rome aimée.

### **Conclusion**

Il est certain qu'Ovide a vécu un ou plusieurs hivers rudes à Tomis, mais ses informations sur un climat presque arctique de cette région constituent un exemple de subjectivisme artistique exprimé dans des hyperboles poétiques, qui doivent être amendées, pour les prendre en considération dans une histoire sur le climat de l'antiquité à la frontière nord de l'empire romain.

### **Bibliographie**

BOIA L. (2004), L'homme face au climat, Les belles lettres, Paris

OVIDE, (1892), Œuvres complètes, ed. bilingue, trad. en français sous la direction de M. Nisard, Chez Firmin-Didot et C-ie Libr., Paris

PĂRVAN V. (1974), Începuturile vieții romane la gurile Dunării, Edit. Științifică, București

TEODOREANU E. (1983), Muzele și vremea, Edit. Albatros, București

\*\*\* (1966), Date meteorologice, IMH, București

## **PATHOLOGIES RESPIRATOIRES dans le secteur public, VARIATIONS THERMIQUES ET AÉROLOGIQUES A Sfax (Tunisie)**

**M. JARRAYA<sup>(1)</sup>, G. BELTRANDO<sup>(1)</sup>, M. BEN JEMAA<sup>(2)</sup>, A. AYOUB<sup>(3)</sup>**

*Université Denis Diderot (Paris VII) UMR 8586 PRODIG du CNRS*

*(c.c. 7001) 2 place Jussieu F- 75251 Paris Cedex 05*

*[jarrayam2001@yahoo.fr](mailto:jarrayam2001@yahoo.fr), [beltrando@paris7.jussieu.fr](mailto:beltrando@paris7.jussieu.fr)*

*(2) Université de Sfax, Faculté de Médecine ; CHU Hédi Chaker, Service des Maladies Infectieuses, 3029 Sfax  
[mounir.benjemmaa@rns.tn](mailto:mounir.benjemmaa@rns.tn)*

*(3) Université de Sfax, Faculté de Médecine ; CHU Hédi Chaker, Service de Pneumologie, 3029 Sfax*

### **Résumé**

Le rythme saisonnier de la consultation pneumologique dans le CHU Hédi Chaker de Sfax est lié aux variations thermiques et aérologiques, et il en résulte une spécificité pathologique à chaque saison. Les séquences froides étudiées selon une échelle journalière ont indiqué un décalage temporel entre d'une part le contexte thermique et aérologique d'autre part la réponse pathologique postérieure.

**Mots clés :** variations thermique et aérologique, consultation pneumologique, Sfax, séquences de froid, décalage temporel.

### **Abstract**

The seasonal rhythm of the pneumologic consultation in the CHU Hédi Chaker of Sfax is connected with thermic and aerological variations, and it results from it a pathological specificity at each season. The cold sequences studied according to a daily scale indicated a temporal shift between, on the one hand the thermal and aerological context on the other hand the posterior pathological answer.

**Key words :** aerological and thermic variations, pneumologic consultation, Sfax, cold sequences, temporal shift.

### **Introduction**

Les pathologies respiratoires ont connu un accroissement important qui leur permet de dominer le paysage épidémiologique, marqué auparavant par la prédominance des maladies infectieuses. Elles sont actuellement prioritaires dans les programmes et les initiatives de recherche, d'intervention et d'aménagement sanitaire. Ainsi, la consultation respiratoire dans le service de Pneumologie du CHU Hédi Chaker de Sfax a connu un accroissement remarquable entre 1999 et 2003 de l'ordre de 27%, contre 8,8% pour l'ensemble des consultations du CHU. Deux grands types de facteurs sont recherchés, d'une part le rôle des épisodes froids en hiver ; d'autres part celui des épisodes de poussières qui agissent à toutes les saisons mais surtout en fin de la saison estivale.

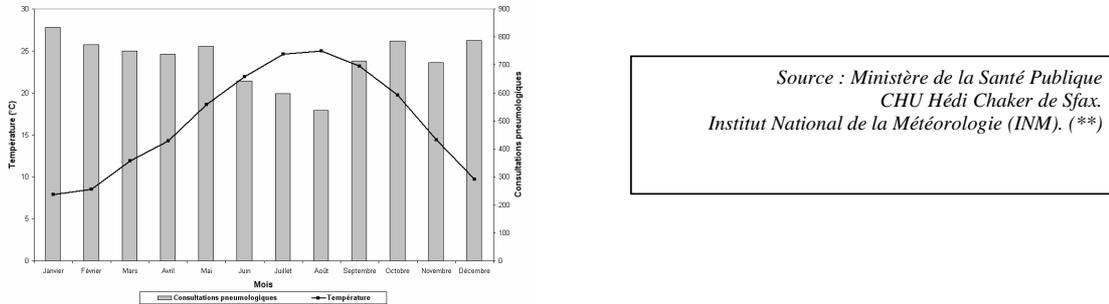
### **1. Données et méthode**

Cette étude de la variation temporelle météorologique et pathologique repose sur des données collectées sur la période 1999 à 2003. Les données météorologiques (température de l'air sous abri et direction de vent) proviennent de la station synoptique de Sfax El-Maou implantée dans l'aéroport de la ville. Les données cliniques concernent le nombre quotidien de patients ayant consulté le service de Pneumologie du CHU Hédi Chaker de Sfax pour des maladies respiratoires variées (bronchite, bronchiolite, broncho-pneumopathie chronique obstructive, asthme...). Deux remarques essentielles sont à mentionner. D'une part, ces données proviennent de secteur de la Santé Publique et, la consultation externe hospitalière est fermée le dimanche et les jours fériés ; d'autre part, cette étude se limite à la portion de la population de l'agglomération sfaxienne qui consulte le secteur public (évaluée à 60% selon le Service de Médecine Communautaire et d'Epidémiologie du CHU Hédi Chaker). Les séquences de froid ont été fixées arbitrairement au seuil de 5°C pour la température moyenne quotidienne sur au moins de 2 jours.

### **2. La variation pathologique temporelle : une relation avec le temps**

**2.1. A l'échelle mensuelle : le rôle des basses températures hivernales et des vents de sable**

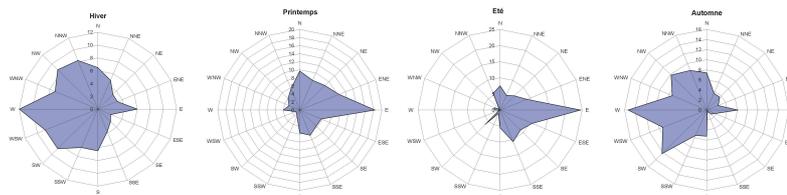
L'étude du nombre de consultations pour les diverses maladies respiratoires traduit un aspect saisonnier : à l'échelle mensuelle moyenne, la courbe thermique est corrélée négativement avec la consultation respiratoire ( $r = -0,8$ ). Entre 1999 et 2003, la baisse thermique hivernale (température moyenne de 7,9°C en janvier) s'accompagne d'un nombre maximal de consultations respiratoires : 835 cas, alors qu'en août, la température moyenne est de 25°C et le nombre de consultations chute à 522 cas, soit une baisse de 37% (figure 1).



Source : Ministère de la Santé Publique  
 CHU Hédi Chaker de Sfax.  
 Institut National de la Météorologie (INM). (\*\*)

Figure 1: Rythme thermique et du consultations pneumologiques mensuelles moyennes au CHU Hédi Chaker de Sfax (1999-2003).

Les vents d'ouest et nord-ouest accusent une large prédominance sur les autres directions. Ces deux directions représentent 27% des observations entre 1999 et 2003 (figure 2). Par ailleurs, la douceur hivernale est brisée par des infiltrations polaires septentrionales, occasionnellement très froides, dont le long trajet sur la mer méditerranée n'est pas suffisamment capable de changer leurs caractéristiques thermiques, et par conséquent elles sont accusées responsables d'un fléchissement thermique notable dans la région de Sfax. Le froid diminue manifestement la résistance immunitaire face aux maladies respiratoires infectieuses [Besancenot et al, 2003].



Situation de calme : 15% 9% 22% 11%

Source : INM

Figure 2 : Roses des vents à Sfax selon les saisons entre 1999 et 2003.  
 NB : Ces roses sont calculés à partir des données tri horaire à 6h, 12h et 18h.

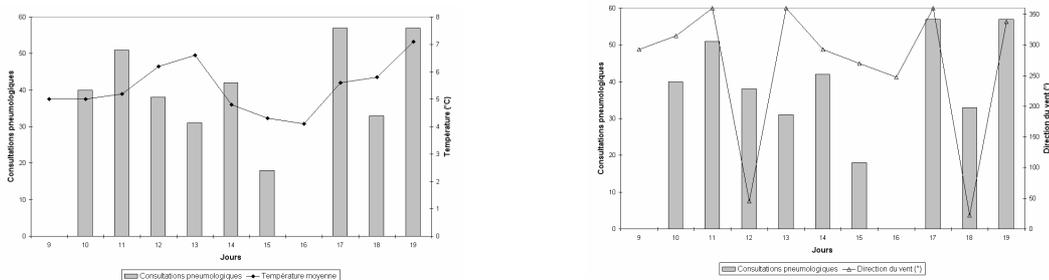
Par ailleurs, le passage des fronts froids sur la région sfaxienne s'accompagne de vents de sud-ouest (13% des observations) assez forts et souvent chargés de sable et de poussière [Bousnina, 1997]. Ce vent relativement fréquent en hiver, il caractérise surtout la période transitoire entre l'hiver et le printemps, et par conséquent il représente un facteur de risque supplémentaire pour les personnes allergiques et ceux qui souffrent de détresse respiratoire, dans la mesure où les particules fines inhalées pénètrent dans les voies aériennes et causent plusieurs complications symptomatologiques. Si la consultation pneumologique enregistre un écart moyen négatif de 25 cas entre février et mars en concordance avec l'accroissement thermique du printemps, le rythme de cette diminution devient manifestement plus accéléré entre mars et avril (10 cas) et même s'inverse en mai avec une augmentation de 27 cas (figure 1). Le déclin sans disparition du motif infectieux cède la primauté au printemps aux pathologies allergiques. Cette augmentation pathologique de mai traduit d'une part une saison printanière caractérisée par l'activité pollinique végétale et d'autre part par un temps

fortement perturbé, matérialisé par une forte turbulence aérologique. Selon une enquête réalisée au printemps 2005 et des entretiens avec 20 médecins généralistes et 4 pneumologues à Sfax [Jarraya, *thèse en cours*], les motifs de consultation respiratoire dans les établissements de Santé Publique sont dominés pendant cette période de l'année par la rhinite, les toux et l'asthme, dont les allergènes d'origine végétale (les pollens) sont fortement accusés de provoquer ces réactions immédiates et violentes des organismes humains sensibles contre ces particules étranges. Le vent favorise l'extension de l'air de diffusion des pollens. Les vents dominants sont l'est et le nord-est et constituent 48% d'observations entre 1999 et 2003 (*figure 2*).

Largement ouverte aux influences sahariennes, Sfax subit fréquemment le souffle de Sirocco. Ce vent, connu localement sous le nom de « Chehili », souffle du sud à sud-ouest, il est très chaud et la température peut dépasser 40°C en été. Ce vent entraîne une chute d'humidité relative, en augmentant le risque d'assèchement des muqueuses et d'autres complications, surtout pour les personnes âgées le plus souvent polypathologiques (Obésité, hypertension artérielle, maladies cardiovasculaires...). En automne, ce vent est responsable d'un apport de sable saharien à Sfax avec l'intensification de la direction sud-ouest. **La figure 1** montre un accroissement de 247 cas entre août et octobre, dû en premier lieu à un temps perturbé caractérisé par l'advection de vent de sable, dans la mesure où les particules fines qui pénètrent et s'accumulent au niveau de tissu pulmonaire, facilitent l'apparition de broncho-pneumonies aiguës ou dans les formes les plus graves, une insuffisance respiratoire chronique.

## 2.2. A l'échelle journalière : le cas de l'hiver

La variation de la consultation pneumologique est beaucoup plus sensible aux variations thermiques brusques ainsi qu'à la direction du vent.

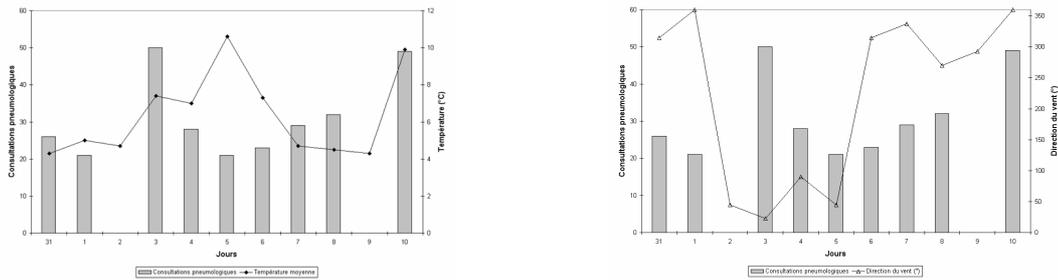


-A- -B- Source (\*\*)

Figure 3: Variations thermique et aérologique et consultation pneumologique durant la période 9-19 janvier 2000.

La période allant de 9 à 19 janvier 2000 est caractérisée par la survenue de deux séquences de froid. La température moyenne durant cette période est de 5,2°C et la consultation moyenne est de l'ordre 50 cas, soit une diminution de 2,9°C par rapport à la moyenne thermique hivernale (8,1°C) et un accroissement de 14 cas par rapport à la moyenne hivernale de la consultation pneumologique (36 cas). **Les figures 3 A et B** illustrent le décalage temporel entre le comportement thermique et la survenue de la consultation pneumologique : une montée de la consultation pneumologique (51 cas) le mardi 11 janvier 2000 traduit l'effet d'une première séquence de froid, caractérisée par une température de 5°C le 9 et le 10 janvier (*figure 3 A*) et le vent dominant est de nord-ouest à ouest-nord-ouest (*figure 3 B*). Les 57 consultations pneumologiques de lundi 17 janvier est expliquée par d'une part la fermeture de la consultation le dimanche et d'autre part la deuxième séquence de « grand froid » de 3 jours, qui a affecté Sfax le 14, 15 et le 16, dont la température moyenne est de l'ordre de 4,3°C. La masse d'air sec continental provenant de l'ouest (le 14 janvier), accompagnée d'une humidité basse (35%) favorise les infections respiratoires, bactériennes et virales, à cause de l'assèchement des muqueuses. Le changement de direction vers l'ouest-sud-ouest le 16 janvier, rend ce vent chargé de poussière d'origine saharienne provoquant ainsi une réactivation allergique, donc un deuxième facteur de surplus de consultation le lundi 17 janvier.

La période de 31 janvier à 10 février 2003 se caractérise par une température plus douce (6,5°C), soit une diminution de 2,9°C par rapport à la moyenne thermique hivernale (9,4°C) et un accroissement de 7 cas par rapport à la moyenne hivernale de la consultation pneumologique (28 cas). Cette période été interrompue par deux séquences froides qui ont influencé la consultation.



-A- -B- Source (\*\*)

Figure 4: Variations thermique et aérologique et consultation pneumologique durant la période de 31 janvier-10 février 2003.

Le froid agit sur la survenue de la consultation pneumologique avec un décalage d'un ou deux jours entre le comportement thermique et la consultation (figure 4 A). La consultation qui culmine à 50 cas le lundi 2 février est le résultat de la fermeture de la consultation le dimanche, mais essentiellement d'une température moyenne de 4,5°C, spécifiant une séquence froide de 3 jours qui a duré de 31 janvier jusqu'à 2 février 2003. Le vent dominant durant cette phase froide provient du nord et le nord-ouest (figure 4 B). En revanche, la prise de relais de régime est et nord-est dès le 4 février s'accompagne d'un adoucissement thermique (10,6°C) le 5 février, suivi d'un changement de régime aérologique vers le nord-ouest le 6 et le 7 et le régime de d'ouest provoquent une chute graduelle de la température moyenne (entre 10,6 le 5 février et 4,3°C le 9 février) et par conséquent un surcroît de la consultation qui atteint 49 cas le 10 février 2003. Les changements thermiques brusques sont attribués aux séquences de froid, qui sont de courtes durées mais d'impacts lourds au niveau de la consultation pneumologique. Elles sont d'ailleurs connues par les cadres médicaux à Sfax comme épisodes à « risque majeur pour la santé respiratoire » et sont l'origine de la mise en alerte les structures sanitaires.

## Conclusion

Le temps au quotidien agissent manifestement sur la fréquence de consultations pour les maladies respiratoires enregistrées par le service Pneumologie de CHU Hédi Chaker. La variation temporelle thermique et aérologique interviennent à la mise en place d'une catégorisation des situations pathologiques respiratoires rencontrées selon les saisons. L'étude des séquences de froid montre que la relation entre le temps et la consultation pneumologique est plus complexe : l'effet du comportement thermique et le changement d'une direction du vent à une autre sur la réponse pathologique n'est pas simultané mais tardive. Un décalage de 1 et 2 jours a été déterminé, désignant le temps qui sépare le moment de l'affection et le jour de la consultation médicale. Cette information pourra s'avérer utile pour informer la direction régionale de la Santé Publique à Sfax qui doit la transmettre auprès des médecins dans les structures sanitaires.

## Bibliographie

BESANCENOT J-P., BEAUDEAU P., CASERIO-SCHÖNEMANN C., COHEN J-C., DEJOUR-SALAMANCA D., EMPEREUR-BISSONNET P., ERNIE Y., ILEF D., LAALDI K., LECOFFRE C., LEDRANS M., LE TERTRE A., MEDINE S., PASCAL M., 2003 : *Froid et santé : éléments de synthèse bibliographique et perspectives*, Rapport d'investigation. Institut de veille sanitaire 48p.

BOUSNINA A., 1997 : *Le climat de Sfax*, Laboratoire de climatologie, Faculté des Sciences Humaines et Sociales Tunis, Ed Altair, 80p.

## TYPE DE TEMPS ET PATHOLOGIE DANS LA CIRCONSCRIPTION URBAINE DE KANDI (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

C.S. HOUSSOU<sup>1</sup> & E.W. VISSIN<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratoire d'Étude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Écosystèmes, Université d'Abomey-Calavi, 03-BP 1122, Cotonou-03, Bénin.  
Email : [housoucs@yahoo.fr](mailto:housoucs@yahoo.fr), [exlaure@yahoo.fr](mailto:exlaure@yahoo.fr) ;

### Résumé

Les éléments climatiques de la circonscription urbaine de Kandi crée un bioclimat très contraignant. Cet environnement épuise l'organisme humain en même temps qu'il favorise le développement des germes pathogènes et exalte leur virulence. C'est ce qui a permis d'établir les liens de dépendance entre les éléments du climat et les maladies diarrhéiques, le paludisme.

**Mot Clés :** Bioclimat, stress bioclimatiques, paludisme, maladies diarrhéiques ,

### Abstract

the climatic elements of the urban district of Kandi creates a very constraining bioclimat. This environment exhausts the human organism at the same time as it supports the development of the pathogenic germs and exalte their virulence. It is what made it possible to establish the bonds of dependence between the elements of the climate and the diseases diarrheal, paludism.

**Key Word:** Bioclimat, stresses bioclimatic, paludism, diseases diarrheal,

### Introduction

Les paramètres climatiques sont les plus déterminants de l'écologie humaines (Vissin, 2001). Leur variabilité influences tous les autres éléments du milieu dont l'Homme.

En effet, lorsqu'on envisage les relations de l'Homme avec son milieu de vie , les différents rapports sont des liens d'étroite dépendance (Alladaye, 1997). Vu l'intérêt que suscite l'écologie humaine, cette étude sur la commune de Kandi (figure 1) met en relief les rapports existant entre certains paramètres climatiques et la santé des populations ( Houssou, 1999) .

### 1- Données et Méthodes

#### 1.1- *Considérations sur les données*

Les données climatologiques sont relatives aux hauteurs de pluie, à la température minimale et maximale, à l'humidité relative maximale, minimale et la moyenne, l'insolation et la vitesse du vent de 1990 à 2000 dans la station synoptique de kandi.

Les données des pathologies de la commune de Kandi concernent le nombre de cas de paludisme et d'affections intestinales (maladies diarrhéiques) fournies par la Direction Départementale Borgou-Alibori.

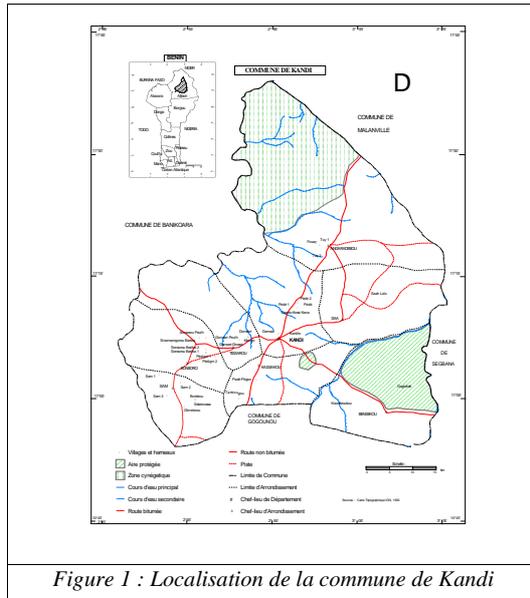


Figure 1 : Localisation de la commune de Kandi

### 1.2. Méthodes

Ces données sont traitées à travers le calcul de l'indice bioclimatique du pouvoir réfrigérant d'air (K) dans l'évaluation des ambiances thermiques auxquelles les hommes sont confrontés (Houssou, 1999).

Il se formule comme suit :

$$K = (10,45 - v + 10\sqrt{v})(33 - T)$$

où v : vitesse du vent en m/s

T : température sèche mesurée en et en °C

et se donne en Kcal/m<sup>2</sup> ou en Watt/m<sup>2</sup> tel que 1 Kcal/m<sup>2</sup>/h = 1,16W/m<sup>2</sup>

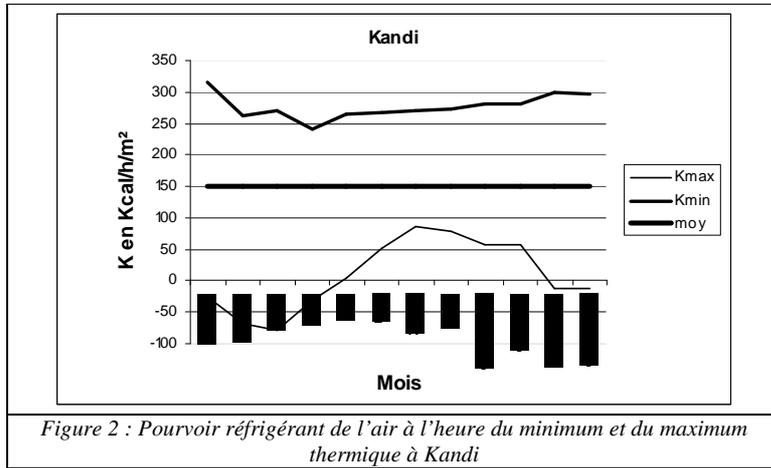
Il est choisi un seuil de 150 Kcal/m<sup>2</sup>/h soit 174W /m<sup>2</sup> en dessous de cette valeur de K l'inconfort est total et l'air ambiant ne peut enlever au corps la chaleur qu'il emmagasine. Et dès que la valeur est négative, le milieu ambiant apporte chaleur à l'organisme et a désormais un pouvoir « réchauffant ».

Les études de corrélations entre certains paramètres climatiques (pluie, température, humidité) et les pathologies dominantes de la localité sont faites.

## 2- Présentation des résultats et analyse

### 2.1. Le climat, source de confort et d'inconfort

La figure 2 exprime le pouvoir réfrigérant de l'air à l'heure du minimum thermique (dans la matinée) à Kandi. La chaleur est forte, difficilement supportable de mai à octobre avec des valeurs comprises entre 4,8 et 78,5 Kcal/m<sup>2</sup>/h. La chaleur est torride insupportable de novembre à avril quand K a des valeurs négatives et l'air ambiant n'a plus qu'un pouvoir « réchauffant » (Houssou, 1999).



2.2 – Etude de corrélation entre paramètres climatiques et pathologies

L'analyse de la figure 3 présentant l'évolution des hauteurs de pluie et paludisme sur la période 1998-2003 montre que les effectifs de cas de paludisme les plus élevés sont enregistrés pendant la saison des pluies. L'augmentation du nombre de cas en période de pluies serait due à la multiplication des gîtes larvaires de moustiques en raison de la quantité d'eau tombée entraînant la prolifération des moustiques dont l'anophèle femelle.

De l'analyse des courbes de l'évolution de la température et des maladies diarrhéiques (figure 4), il ressort clairement que le nombre de cas de maladies diarrhéiques augmente avec la hausse thermique et atteint son maximum en mai. Ces affections se développent beaucoup plus en saison sèche (Besancenot, 1986). Les périodes de hausse thermique seraient des périodes d'occurrence des maladies diarrhéiques.

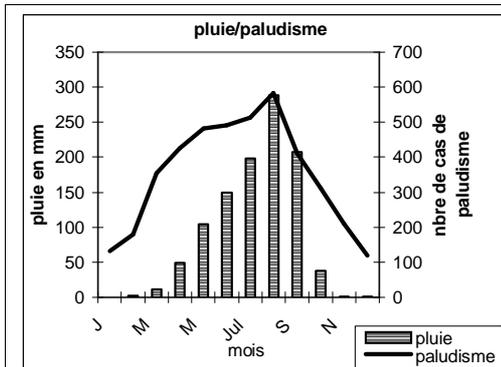


Figure 3 : Evolution pluie/paludisme

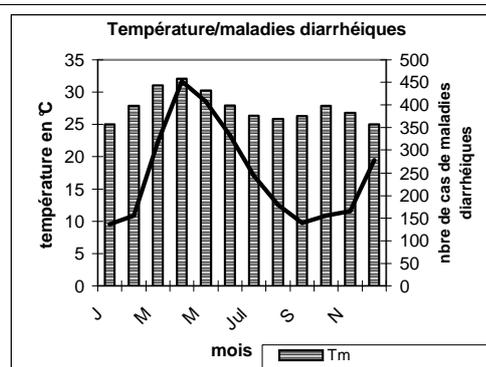


Figure 4 : Evolution température/maladies diarrhéiques à Kandi

L'étude des corrélations pluie/paludisme, pluie/maladies diarrhéiques, température/paludisme, température/maladies diarrhéiques, humidité/paludisme et humidité/maladies diarrhéiques (tableau 1) montre que les taux élevés de paludisme observés pendant la saison des pluies sont la résultante des effets des abas pluviométriques, de la hausse hygrométrique et de la baisse thermique relatifs à cette période, ce que confirment les valeurs des coefficients de corrélation (Houssou, 1991).

Les valeurs négatives des corrélations pluie/maladies diarrhéiques et humidité/maladies diarrhéiques traduisent des corrélations inverses. Cela signifie qu'à la baisse de la pluviométrie et de l'humidité correspond une hausse de l'effectif des maladies diarrhéiques. On peut donc dire que plusieurs autres faits géographiques et sociologiques pourraient expliquer ces faibles corrélations. Il s'agit du manque d'hygiène et de l'insalubrité. Les valeurs positives (cas de la corrélation température/maladies diarrhéiques), traduisent une évolution normale des deux facteurs avec une corrélation très significative (Houssou, 1991).

Tableau 1 : Etude de corrélation des principaux paramètres climatiques et de quelques affections

|                       | Température | Humidité    | pluie       |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Paludisme             | 0,31177655  | 0,80873575  | 0,84151249  |
| Maladies diarrhéiques | 0,75549852  | -0,05564697 | -0,04734918 |

## Conclusion

Par son action directe, le climat fragilise l'organisme humain et le rend vulnérable aux attaques des agents pathogènes en réduisant ses capacités de défense immunitaire. Le climat favorise également la prolifération des germes et vecteurs pathogènes et accroît leur virulence. Ce faisant, le climat est indirectement responsable de plusieurs affections. C'est donc de cette double action du climat que découle le caractère saisonnier des deux affections étudiées.

On peut retenir que les maladies diarrhéiques s'établissent pendant la saison sèche et au début de la saison des pluies et que le paludisme quant à lui caractérise la saison pluvieuse.

## Références bibliographiques

ALLADAYE G. P., 1997 : Type de temps et pathologies chez les enfants (0-15 ans) dans la circonscription urbaine d'Abomey, mémoire de maîtrise, UNB, 135 pages.

BESANCENOT J-P., 1986 : Recherches de bioclimatologie humaines en zone intertropicale in PAGNEY (P.), NIEUWOLT (S.), Etude de climatologie tropicale ;Paris Masson, Coll. « Recherche en géographie »pp.11-28

HOUSSOU S.Ch 1991 : Rythmes climatiques et rythmes pathologiques dans le Nord-Ouest du Bénin Mémoire de DEA de climatologie, Dijon, 100pages.

HOUSSOU S.Ch 1999 : Les bioclimats humains de l'Atacora (Nord –Ouest du Bénin) et leurs implications socio-économiques Thèse unique de géographie Dijon 332 pages

VISSIN E. W., 2001 : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger. Mémoire de DEA, CRC/université de Bourgogne, Dijon, France, 53 pages.

## **EXISTE-T-IL UNE RELATION ENTRE LA DISPARITION DU PALUDISME DANS LE SUD-OUEST DE L'EUROPE (DOÑANA, HUELVA) ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES RECENTS?**

**SOUSA<sup>(1)</sup>, J. MORALES<sup>(1)</sup>, M. AGUILAR<sup>(2)</sup>, P. GARCÍA-MURILLO<sup>(1)</sup> et L. GARCÍA-BARRÓN<sup>(3)</sup>**

1. *Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, C/ Profesor García González, 2. 41012 Sevilla. Espagne.*

2. *Departamento de Geografía Física y AGR. Facultad de Geografía, Universidad de Sevilla, Espagne.*

3. *Departamento de Física Aplicada II. E.U.A.T., Universidad de Sevilla, Espagne.*

[asousa@us.es](mailto:asousa@us.es); [jmorales@us.es](mailto:jmorales@us.es); [malba@us.es](mailto:malba@us.es); [pgarcia@us.es](mailto:pgarcia@us.es); [leoncio@us.es](mailto:leoncio@us.es)

### **Résumé**

Jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, tout au moins, le littoral oriental de la région de Huelva (sud-ouest de l'Espagne) constituait une zone endémique de paludisme. Certains auteurs pensent qu'il est possible que cette maladie, disparue des zones tempérées pendant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, ne réapparaisse du fait du Réchauffement Global de l'atmosphère. Dans cette étude, nous analyserons les données de cette pathologie sur le littoral de Huelva du XVIII<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle. Nous étudierons ensuite sa possible relation avec les nombreux sols humides et avec les changements climatiques récents.

**Mots-clés:** *Paludisme, Changement Climatique, Réchauffement global, Petit Age Glaciaire, Doñana, Andalousie.*

### **Abstract**

At least until the mid of the 20th century, the eastern coast of the province of Huelva (South-West of Spain) was a malaria endemic area. The possibility that this disease, that disappeared in temperate areas along the second half of the 20th century, rises due to the global warming, have been raised by some authors. In this work data of this pathology in the coast of Huelva from 18th to 20th century are analyzed, and its possible relationship with the numerous wetlands and recent climatic changes are studied.

**Key-words:** *Malaria, Climatic Change, Global warming, Little Ice Age, Doñana, Andalusia.*

### **Introduction**

Le paludisme est considéré comme une des plus importantes des maladies parasitaires qui affectent l'Homme, et des études récentes montrent qu'il est possible de mettre en relation l'expansion ou le recul de cette pathologie avec les modifications ou les changements climatiques comme le Réchauffement Global. Bien que certains auteurs attestent de l'existence d'un lien clair entre l'augmentation de variables climatiques et une recrudescence du paludisme, d'autres remettent en cause ce type d'analyses qu'ils disent imprécises ou incomplètes (Reiter 2000 et 2004). Dans tous les cas, cette menace s'est reflétée, avec plus ou moins d'intensité, dans divers panels d'experts (MCCarthy et al., 2001).

Un nouvel examen des données historiques en Andalousie (sud-ouest de l'Espagne), et particulièrement celles de la province de Huelva, met en évidence la présence réitérée du paludisme jusqu'aux premières décennies du XX<sup>e</sup> siècle. L'analyse de l'évolution de cette pathologie parasitaire dans cette région du sud-ouest de l'Espagne présente un grand intérêt, non seulement dans le but de connaître son évolution, mais aussi afin d'apporter des données contribuant à éclairer la polémique actuelle au sujet de la relation entre une possible ré-expansion du paludisme et les changements globaux du climat.

1. Méthodologie

Bien que, dans cette étude, nous ferons référence aux données concernant cette maladie en Espagne et en Andalousie, l'analyse se centrera sur le littoral oriental de Huelva (sud-ouest de l'Espagne). Pour cela, trois aspects différents sont étudiés simultanément (Tableau 1): l'évolution du paludisme, le recul des sols humides où se reproduit le vecteur qui transmet le paludisme, et les tendances et les points d'inflexion climatiques.

Tableau 1: Chronologie où sont analysés chacun des aspects principaux.

| Objet de l'étude | Chronologie         |                      |                    |                   |
|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
|                  | XVII <sup>e</sup> S | XVIII <sup>e</sup> S | XIX <sup>e</sup> S | XX <sup>e</sup> S |
| Paludisme        | Non                 | Oui                  | Oui                | Oui               |
| Sols humides     | Oui                 | Oui                  | Oui                | Oui               |
| Précipitations   | Non                 | Non                  | Oui                | Oui               |

Les données concernant le paludisme sur la zone ont été obtenues à partir des enquêtes réalisées par le géographe Tomás López, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, auprès des curés des communes espagnoles (Ruiz González, 1999; Sousa et al., 2005). Les données de la moitié du XX<sup>e</sup> siècle proviennent essentiellement du Dictionnaire Géographico-statistico-historique de Madoz (1848), même si d'autres sources ont également été consultées. Pour le XX<sup>e</sup> siècle ont été utilisés différents documents relatifs aux reforestations mises en œuvre sur le littoral oriental de Huelva (cf Sousa et García Murillo, 2001 et 2003), mais aussi les archives de l'Institut National de Statistique d'Espagne.

L'évolution des lagunes de la zone a été obtenue à partir de l'étude de photographies aériennes, images satellites, sources historiques et par l'analyse de microreliefs (pour plus de détails, cf Sousa et García Murillo, 2002 et 2003).

Les informations relatives à l'évolution des années sèches et des années humides a été élaborée à partir d'une série historique (1838-1985) de précipitations de l'observatoire de San Fernando (Cádiz), appliquant pour cela une analyse de quantiles de la distribution (Fernández García, 1995; Sousa et al., 2005).

## 2. Résultats et Discussion

### 2.1. Évolution du paludisme

Au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle, une grande épidémie de paludisme a ravagé l'Espagne (Sousa et al., 2005), de 1786 à 1792. L'épidémie a eu également une grande répercussion en Andalousie, d'après ce qui apparaît dans l'enquête auprès du curé de Lebrija (province de Séville) en 1787. À partir des données collectées par Tomás López, on peut en déduire qu'à cette période le paludisme était très étendu dans toute l'Andalousie et de manière plus globale, dans toute l'Espagne. Dans notre zone d'étude, cette maladie (et ses manifestations sous la forme de fièvres périodiques et intermittentes) était la pathologie la plus fréquente.

Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, les données de Madoz (1848) et d'Heraso (1890) mettent en évidence le fait que les fièvres paludéennes sont devenues endémiques, car elles se sont limitées et concentrées sur les zones les plus inondées. Cette situation perdure durant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle (De La Lama, 1941), jusqu'à ce que, en 1957-1959, on parvienne à éradiquer le paludisme. Les causes de disparition de cette maladie apparaissent clairement liées aux processus de reforestation sur tout ce secteur à l'aide de pins et d'eucalyptus (Sousa et García Murillo, 2001), qui a conduit à l'assèchement d'une grande partie des lagunes de cette zone du littoral oriental de la province de Huelva (sols humides continentaux des actuels Parc National et Parc Naturel de Doñana).

## 2.2 Évolution de sols humides

Du début du XVII<sup>e</sup> siècle jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle, les lagunes du Parc naturel de Doñana ont souffert un important recul (91% des lagunes tourbeuses de Rivatehilos et 40% des lagunes temporaires d'Alabario). Les données concernant, pour leur part, les Lagunes Périodiques du Parc National de Doñana notent une réduction proche d'environ 70% de leur superficie (pour la période 1920-1987). En revanche, même si cette réduction s'intensifie avec le commencement des travaux forestiers à la moitié du XX<sup>e</sup> siècle, il s'agit d'un processus lent et continu depuis le début du XVII<sup>e</sup> siècle, et qui commence à s'accélérer à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. C'est cette évolution que reflète la Figure 1 :

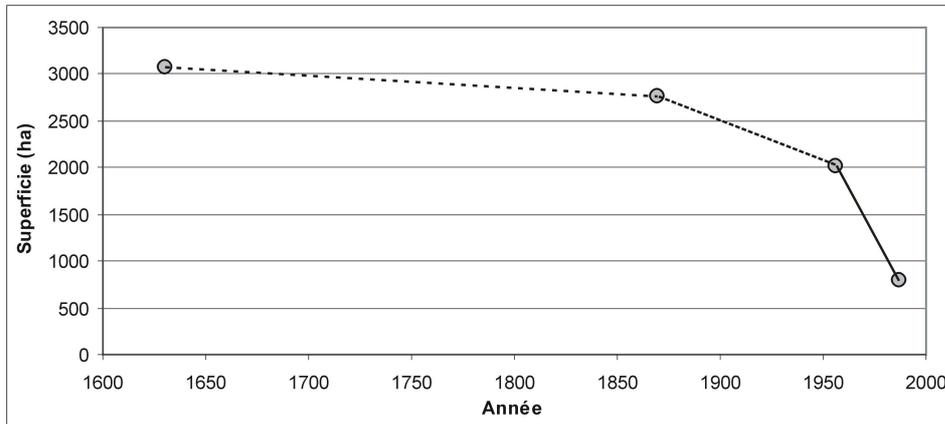


Figure 1: Évolution des superficies des lagunes tourbeuses et temporaires dans le Parc Naturel de Doñana (Sud-Ouest de l'Espagne).

## 2.3. Tendances des précipitations

L'analyse des tendances des précipitations de l'Observatoire de San Fernando (Cádiz), proche de la zone étudiée, montre un point d'inflexion très net à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Durant la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, le nombre d'années humides et très humides augmente. En revanche, au début du XX<sup>e</sup> siècle, cette tendance s'inverse, puisque c'est le nombre d'années sèches et très sèches qui s'accroît (Sousa et al., 2004). Cette période semble coïncider avec le troisième et dernier pic humide du Petit Age Glaciaire (PAG), étudié pour l'Andalousie par Rodrigo et al. (1999), et pour le littoral méditerranéen espagnol par Barriendos et Martín-Vide (1998).

## Conclusion

D'après les résultats obtenus jusqu'à maintenant, on peut se demander si le recul des sols humides ne constituerait pas un maillon intermédiaire ou un connecteur entre les modifications du climat, et l'existence d'un bouillon de culture optimum pour la dispersion de la maladie. Des études antérieures ont démontré l'existence d'une relation entre la dernière phase du Petit Age Glaciaire et le recul d'une grande partie des sols humides (Sousa et García Murillo, 2002 et 2003; Sousa et al., 2004). Ainsi, si la relation générique entre des changements climatiques déterminés et la disparition des sols humides est démontrée, il serait alors possible d'établir une relation indirecte - dans des circonstances déterminées - entre les changements climatiques et le développement du paludisme.

## Références

- BARRIENDOS, M. et MARTÍN-VIDE, J., 1998: Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish mediterranean coastal area (14th-19th centuries). *Climatic Change* 38: 473-491.
- DE LA LAMA, G., 1941: *Memoria de reconocimiento y propuesta de trabajos de la finca "Coto Ibarra"*. Patrimonio Forestal del Estado, 24 p.
- FERNANDEZ GARCIA, F., 1995: *Manual de climatología aplicada*. Editorial Síntesis, Madrid, 285 p.
- HERASO, J., 1890: Estudio sobre la fijación de las dunas situadas en el término municipal de Almonte, provincia de Huelva. *Revista de Montes* 322: 281-287.
- MADOZ, P., 1848: *Diccionario Geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar*. Biblioteca Santa Ana. Almedralejo (Badajoz).
- MCCARTHY, J.J., CANZIANI, O.F., LEARY, N.A., DOKKEN, D.J. et WHITE, K.S., 2001: Climate Change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- REITER, P., 2000: From Shakespeare to Defoe: Malaria in England in the Little Ice Age. *Emerging Infectious Diseases* 6: 1-11.
- REITER, P., 2004: Global warming and malaria: a call for accuracy. *Lancet Infectious Diseases* 4: 323-324.
- RODRIGO, F. S., ESTEBAN-PARRA, M. J., POZO-VÁZQUEZ, D. et CASTRO-DÍEZ, Y.: 1999. A 500 year precipitation record in Southern Spain. *International Journal of Climatology* 19: 1233-1253.
- RUIZ GONZÁLEZ, J.E., 1999: *Huelva, según las relaciones enviadas por los párrocos al geógrafo real Tomás López en el siglo XVIII*. Diputación Provincial de Huelva, Huelva. 427 p.
- SOUSA, A. et GARCÍA-MURILLO, P., 2001: Can place names be used as indicators of landscape changes?. Application to the Doñana Natural Park (Spain). *Landscape Ecology* 16: 391-406.
- SOUSA, A. et GARCÍA MURILLO, P., 2002: Méthodologie pour l'étude des effets du Petit Age Glaciaire dans le Parc Naturel de Doñana (Huelva, Espagne). Essai de reconstitution des formations palustres et du drainage superficiel. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 14: 359-367.
- SOUSA, A. et GARCÍA-MURILLO, P., 2003: Changes in the Wetlands of Andalusia (Doñana Natural Park, SW Spain) at the End of the Little Ice Age. *Climatic Change* 58: 193-217.
- SOUSA, A., GARCÍA MURILLO, P., GONZÁLEZ PÉREZ, M. I. et GARCÍA BARRÓN, L., 2004: La desaparición de las lagunas del entorno de Doñana (Huelva, España) y su relación con cambios climáticos recientes. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología* A4: 715-724.
- SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. et GARCÍA-MURILLO, P., 2005: Paludismo, cambios climáticos y humedales en el litoral oriental onubense. *Aestuaría* 9 (in press).

## LA PERCEPTION DES EXCES CLIMATIQUES DANS UNE CHRONIQUE PAYSANNE DU VELAY (FRANCE) AU XVIII<sup>E</sup> ET XIX<sup>E</sup> SIECLES

J-B. SUCHEL

CRENAM, Université Jean Monnet Saint-Etienne  
e-mail : [jbsuchel@free.fr](mailto:jbsuchel@free.fr)

### Résumé

Cet article présente une chronique paysanne des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles faisant une place importante à l'observation du temps. L'inventaire des événements à risque met en évidence la plus grande rudesse du climat de l'époque par rapport aux conditions actuelles.

**Mots-clés** : chronique ancienne, observation du temps, Velay.

### Abstract

This paper presents a peasant chronicle of the XVIII<sup>th</sup> and XIX<sup>th</sup> centuries in which the observation of weather has a great place. The inventory of the dangerous events points out the stronger severity of the climate of this time in comparison with to day.

**Key-words** : ancient chronicle, observation of weather, Velay.

### Introduction

Un chercheur autodidacte, Christian Maillibouis, a fait paraître à compte d'auteur en 1992, sous le parrainage de la Société d'Histoire de la Montagne du Chambon-sur-Lignon (Haute-Loire, France) un ouvrage intitulé : « 1722-1870 : La chronique Deschomets de Mazelgirard, près de Tence, en Velay ». Il s'agit d'une chronique paysanne, sous forme d'Annales discontinues, faisant une place importante aux observations météorologiques.

Bien que très disparates d'une année à l'autre, les événements relatés apportent un éclairage fort intéressant sur la perception du temps et, plus précisément, des excès climatiques en milieu rural, à une époque où les mesures instrumentales n'étaient pas encore largement diffusées. Cet article vise modestement à présenter le contexte de l'élaboration de cette chronique et à établir un bilan chiffré des éléments marquants de son contenu.

### Nature et intérêt du document

Le milieu géographique concerné par cette chronique paysanne est le plateau du Velay oriental, dans le Massif Central français, terre granitique située dans la tranche de 900 à 1000 m. d'altitude, en bordure occidentale des Monts du Vivarais, qui dominent la vallée du Rhône, et au nord du haut plateau volcanique du Mézenc, point culminant de la région (1753 m.). Le hameau de Mazelgirard, où vivait la famille Deschomets, se trouve sur le haut du versant ouest du Lignon, principal tributaire de la Loire supérieure, d'orientation grossièrement S-N.

Il s'agit d'une région ayant servi de refuge aux protestants à l'époque des persécutions consécutives à la révocation de l'édit de Nantes. C'est sans doute la raison pour laquelle elle reste fortement marquée par des traditions d'ouverture d'esprit et goût de l'écrit en milieu paysan, malgré la grande rudesse de la vie quotidienne. La grande famille Deschomets était bien représentative de cette particularité sociologique.

La période concernée par le document s'étend essentiellement de 1740 à 1870, mais avec d'importantes lacunes : certaines années sont totalement absentes (notamment 1756-65, 1796-1799, 1801-1808), d'autres ne comportent qu'une brève notation sans rapport avec le climat. Tout compte fait, 79 années seulement font une place significative aux événements météoro-logiques : 22 au XVIII<sup>e</sup> siècle et 57 au XIX<sup>e</sup>. Encore sont-elles documentées de façon très inégale. En outre, il est évident que plusieurs personnes se sont succédées pour la rédaction de la chronique; mais toutes appartenaient à la même famille et les textes successifs ne laissent pas apparaître de différences flagrantes dans l'appréciation du temps qu'il fait.

Il convient d'ajouter que la description de celui-ci n'est pas forcément la préoccupation première des rédacteurs. En bons paysans, ces derniers s'intéressent avant tout au volume des récoltes et aux prix des denrées agricoles, dont il dressent un véritable inventaire. Il est vrai que ces paramètres sont étroitement liés aux caractéristiques du temps et permettent de bien prendre la mesure de la gravité des excès climatiques. Le temps est décrit de manière purement qualitative, souvent de façon imagée et pittoresque, avec une insistance particulière sur les événements frappants et leurs conséquences sur le milieu naturel et la vie agricole.

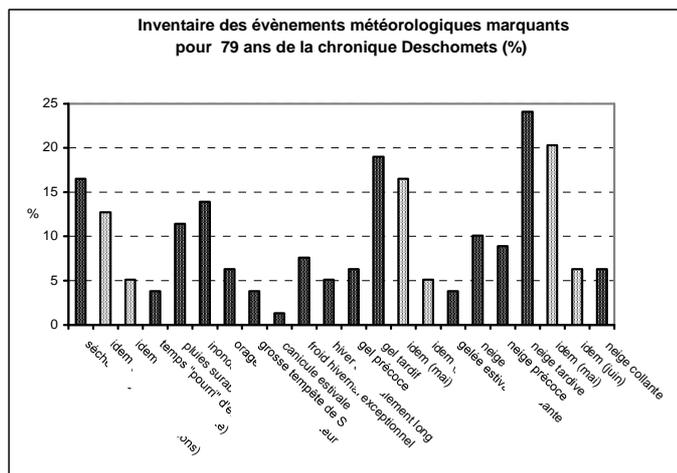
Il est clair qu'on ne peut demander à une telle chronique plus que ce qu'elle peut donner! Son premier intérêt est de révéler de manière très concrète la perception que pouvait avoir du temps et des intempéries une communauté paysanne fortement repliée sur elle-même, habitant une terre pleine de rudesse. Mais, au-delà de la pure description du temps, l'analyse statistique des événements marquants nous renseigne sur les fréquences relatives probables des différents types de crises météorologiques et, tout bien considéré, mettent en évidence une ambiance climatique qui n'était manifestement pas la même qu'aujourd'hui. Pour tout dire, cette chronique fait figure de témoin de la phase terminale du « petit âge glaciaire ».

## 2. Analyse du contenu et bilan statistique des événements marquants

Bien que la chronique Deschomets fasse généralement mention, saison par saison, de ce qu'on peut appeler les temps ordinaires, leur énumération a sans doute plus un intérêt sémantique que véritablement informatif. J'ai donc pris le parti de sélectionner plutôt les événements ayant des conséquences néfastes sur le milieu naturel et (ou) la production agricole. Deux critères de base peuvent être retenus: ou bien le phénomène se distingue par son intensité, ou bien il se produit à une date inhabituelle par rapport au rythme saisonnier, les deux critères n'étant pas exclusifs l'un de l'autre. Au premier se rattachent, par exemple, les sécheresses estivales, les froids hivernaux exceptionnels, les grosses inondations d'automne..., au second, les gelées et chutes de neige précoces ou tardives, les étés « pourris »... Le graphique joint présente les principaux événements concernés, en % de l'ensemble des 79 années prises en compte.

Si l'on se réfère au premier critère, ce sont les sécheresses qui arrivent en tête, en affectant 16,5 % des années analysées. La majorité d'entre elles sont centrées logiquement sur l'été : le Velay oriental est proche du domaine méditerranéen ; le mois de juillet y est normalement peu pluvieux (Fillod, 1985). Cependant, les sécheresses les plus graves s'étendent à la fois sur le printemps et l'été, comme en 1833 : « *Le mois de may a été extrêmement sec...La sécheresse a continué pendant tout l'été. Il n'a tombé que très peu de pluie ici, qui allait à peine jusques aux truffes (pommes de terre) dans la terre* ».

Le phénomène opposé de la surabondance des pluies, génératrices d'inondations, se distingue également, l'avantage (13,9 %) revenant aux inondations, qui frappent l'imagination par leur caractère brutal et destructeur. Quelques-unes sont dues à de gros orages d'été, mais la majorité d'entre elles (7 cas sur 11) concernent l'automne : elles sont associées au « vent du midi » et traduisent l'extension, relativement fréquente, des « pluies cévenoles » vers le nord (Paul, 1969). Ainsi, par exemple : « *Le 3<sup>e</sup> jour du mois d'octobre 1795, il a tombé une pluie si fort et abondante avec un vent de midi, que la rivière de Lignon était extraordinairement grossis et débordée... Elle a entraîné tous les moulins ...(et) emporté le pont de Chambon...* ».



Pour 5 années (6,3 %), la chronique mentionne un orage dévastateur, sous l'effet de la grêle principalement. Le 30 août 1819, les dégâts sont plutôt dus à une trombe : « *Il s'est formé un nuage avec des tornades et un tourbillon de vent extraordinaire. Il a arraché des arbres en plusieurs endroits... Il a renversé des murailles et des maisons d'une manière étrange ayant enporté jusqu'au planchier* ». Il est un peu surprenant que les grandes tempêtes de sud, si redoutables pour les arbres, ne soient mentionnées que trois fois (3,8 %), du moins comme cause de ravages dans les forêts, alors que l'époque moderne a connu au moins trois autres événements graves de ce genre en moins de 20 ans (novembre 1982, octobre 1987 et décembre 1999).

En ce qui concerne les températures, on ne s'étonne pas outre mesure qu'une seule année : 1822, soit marquée par une canicule estivale (« *Il y a 146 ans que la récolte n'avait pas été si précoce* »), alors que 6 années (7,6 %) ont connu un froid hivernal extrêmement sévère, en particulier l'année 1789 (« *Selon les anciens, il a gelé plus fort qu'en 1709* »). La rigueur de l'hiver peut aussi se manifester par une longueur exceptionnelle (5,1 % des années), comme en 1827, qui se distingua également par la surabondance de la neige (« *On a trouvé des maisons écrasées sous la neige ou tout a péri* »).

La neige est la compagne habituelle de l'hiver sur ces plateaux d'altitude, mais son excès a vraiment causé des préjudices au cours de 10,1 % des années prises en compte : grosses difficultés de circulation liées aux congères, pénuries de bois ou de fourrage dues à la persistance du manteau neigeux... Ainsi, à la fin de l'hiver 1837 : « *Nous avons de terribles tas de neige et aussi des falaises... Le 7 et 8 (avril), il faisait un vent d'auvergne extrêmement fort, avec une terrible burle (nom local du vent formant les congères) qui a rempli les chemins de neige autant que jamais... Plusieurs sont en grand embarras faute de fourrages* ».

Sont signalées aussi à plusieurs reprises des chutes de neige collante (6,3 %), associées au vent de sud, causant de gros dégâts aux forêts, comme en 1842 : « *Le vent de midi se mit à souffler et à tomber de neige à floucons, en sorte qu'il à abattu du bois de pin extraordinairement et même de très forts. Les vivants n'avait pas encore vu tant d'arbres abatus* ».

C'est aussi principalement par la présence de la neige et du gel que se manifestent les événements dommageables survenant à une date inhabituelle dans la succession des saisons. On peut admettre qu'il y a gel ou neige précoce quand ces phénomènes se produisent avant le 1<sup>er</sup> novembre, ce qui a été le cas de 6,3 % des années pour le gel et 8,9 % pour la neige. Celle-ci a fait son apparition dès la fin septembre en 1832, 1850 et 1869.

D'autre part, ont été considérées comme gelées ou chutes de neige tardives celles qui se sont produites au-delà du 30 avril. Ce sont ces deux types d'événements qui ont été relativement les plus

fréquents, puisqu'ils concernent 19,0 % des années pour le gel et pas moins de 24,1 % pour la neige. Ils font figure de risque majeur pour l'économie rurale. Ainsi, en l'an 1821, « *le dimanche 27 (mai) au matin, il tombait de neige et il faisait un vent de nord très froid. Il a gelé très fort, les nuits du 27, 28, 29, 30...La terre avait gelé de plus d'un pouce, 1 pouce et demy. Des écluses avait glacés...Les feuilles des fraises ont été tuées au Mazetgirard et en bas, d'une manière extraordinaire. Les blés qui étaient très forts ont été abîmés par les gelés* ».

Il est encore plus surprenant de constater que de telles intempéries ont pu se produire, en ces temps-là, jusqu'à la fin du mois de juin, comme en témoigne cet extrait de la chronique de 1749 : « *Le 9<sup>e</sup> jour du mois de juin, il tomba de la neige si fort qu'...il y en avait environ jusques aux genoux...Il a gelé le 11, le 14 et le 16. Et le 17, il à tout fait bien gelé. Le 27, il a tombé de la neige environ 4 doigts, et puis la nuit, il a gelé extraordinairement. De sorte qu'il a tué les truffes...il a fait un très grand dommage aux bleds* ». Manifestement, il s'agit d'un contexte climatique fort différent de l'actuel, pour la neige surtout; même sur ces hautes terres, il est devenu exceptionnel que les premiers jours de mai connaissent encore une chute de neige fondante !

Dans le même ordre d'idée, on relève 3 cas de gelée en plein été (juillet-août), alors que le site de versant de Mazetgirard ne se prête pas aux inversions de température.

### Conclusion

En définitive, cette chronique disparate ne peut prétendre en aucune manière fournir un panorama précis et exhaustif des types de temps qui se sont succédés au cours des 79 années considérées. Mais elle donne une bonne idée des multiples incartades du temps et des risques encourus par une société paysanne très dépendante des conditions météorologiques. Il paraît significatif à cet égard que, sur les 79 années, 16 seulement, soit une sur cinq, semblent avoir été exemptes d'excès ou dérèglements climatiques préjudiciables.

En outre, il apparaît clairement que le climat de l'époque concernée était sensiblement plus rude que le climat actuel. On peut y voir la signature du « petit âge glaciaire », même si l'on ne peut déceler aucune atténuation significative de cette rudesse vers la fin de la période.

### Références

FILLOD A., 1985 : Le climat de la Haute-Loire. Ed. de la Borne, Saint-Vidal, 94 p.

MAILLEBOUIS C., 1992 : 1722-1870, La chronique « Deschomets » de Mazetgirard, près de Tence, en Velay. Société d'Histoire de la Montagne, Le Chambon-sur-Lignon, 160 p.

PAUL P., 1969 : Contribution à l'étude du climat du Velay et du haut Vivarais. Monogr. Mét. Nat. n° 69, 108 p.

# LES VARIATIONS ATMOSPHERIQUES ET LES MALADIES DU SYSTEME RESPIRATOIRE PENDANT L'AUTOMNE ET L'HIVER AU DISTRICT FEDERAL, BRÉSIL

J. BARROS. J A. ZAVATTINI.

UNESP/IGCE – Programa de Pós-graduação em Geografia.  
Rua 10, 2527, Caixa Postal 178, Santana. 13500-230. Rio Claro-SP, Brésil.  
Courriel: juli@rc.unesp.br

## Résumé

L'objectif de ce travail est de faire une investigation sur l'influence du climat du District Fédéral (Brésil) sur l'incidence ou l'aggravement des maladies du système respiratoire pendant la période automne-hiver. Les résultats obtenus montrent que le comportement des éléments climatiques analysés exerce une forte influence dans le nombre de décès, de soins et hospitalisations par des maladies respiratoires dans le domaine d'étude. Les mois d'automne et hiver, représentent la période de plus grande incidence et aggravement des maladies.

**Mots clés:** éléments climatiques, maladies respiratoires, District Fédéral (Brésil).

## Abstract

The objective of this work is to investigate the influence of the Federal District climate (Distrito Federal – Brasil) on the occurrence or aggravation of the respiratory system during the Fall-Winter period. The results showed that the behavior of the analyzed climatic elements has a high influence on the number of deaths, care and hospitalization due to respiratory illnesses in the study area. The Fall-Winter months, May to September, which are characterized by lower temperatures and drought, represent the period of greater occurrence and aggravation of the illnesses.

**Keywords:** Climate elements, respiratory illness, Federal District (Distrito Federal – Brasil).

## Introduction

Le District Fédéral est localisé dans le Plateau Central brésilien, avec une surface de 5.814 km<sup>2</sup> qui présente le *Cerrado* comme végétation prédominante et se trouve dans une zone climatique où on distingue, essentiellement, deux types de périodes climatiques : l'un qui est automne hiver, sec, et l'autre printemps été, pluvieux.

Parmi les aspects climatiques de la période automne hiver au District Fédéral, ce qui attire plus l'attention et mérite plus d'évidence dans la presse en général, est la basse humidité relative de l'air qui peut varier de 10 à 40% entre les mois d'avril et septembre.

Dans ce contexte on observe les effets des basses valeurs d'humidité relative et des brusques variations de température de l'air, communes dans la période automne hiver, sur la santé de la population du District Fédéral. Les nouvelles sur l'augmentation des infirmités sont fréquentes, comme le montrent les manchettes suivantes sélectionnées : “*La sécheresse va durer encore un mois au DF – Les maladies ont déjà augmenté de 20%*” (*Folha de Sao Paulo*, 1991), “*Le temps sec apporte des maladies respiratoires*” (*Correio Braziliense*, 1991) et “*Alerte contre les maladies du froid*” (*Correio Braziliense*, 2004).

Basé sur les considérations précédentes et sous l'optique de la Climatologie Géographique Brésilienne et de la Géographie de la Santé, cette recherche prétend vérifier la relation entre le climat et la santé des habitants du District Fédéral (Figure 1) focalisant plus spécifiquement les maladies du système respiratoire, l'humidité relative de l'air, la température et la pluie qui sont génétiquement liées à la succession des types de temps.

On attend, de cette façon, offrir une contribution au planning, soit en ce qui concerne l'implantation et/ou l'expansion des outils hospitaliers dans le domaine d'étude, soit dans la réalisation de campagnes d'orientation de la population dans des périodes plus critiques.

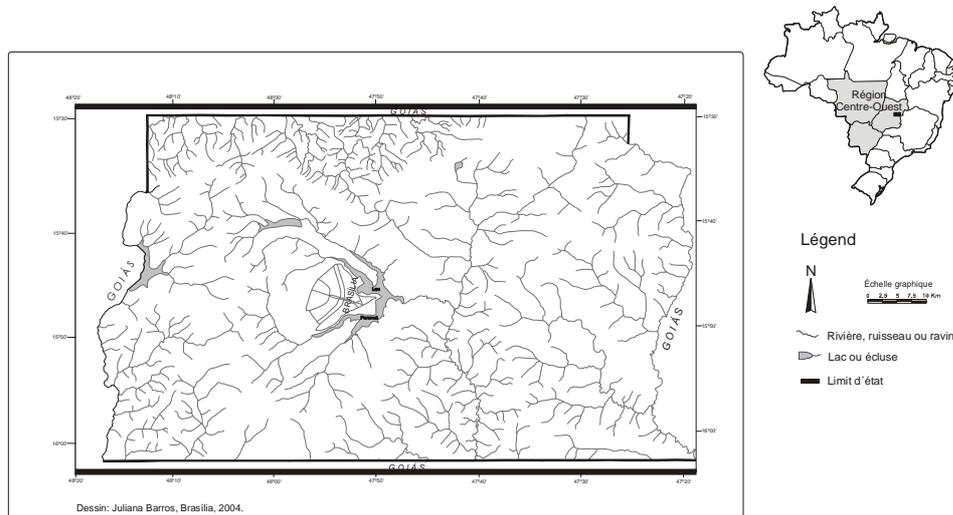


Figure 1 - La localisation du Distrito Federal au Brésil

## 2. Méthodologie

Pour la réalisation de ce travail on a fait initialement, une recherche de nouvelles concernant le climat du District Fédéral publiées sur la période 1986 à 2004 parmi lesquelles on a sélectionné seulement celles qui montrent quelques relation entre les aspects climatiques et l'occurrence des maladies le journal local de plus grande circulation, le *Correio Braziliense*. On a récolté des nouvelles respiratoires dans le domaine d'étude.

Pour la caractérisation climatique on a utilisé le travail de Barros (2003) qui en étudiant le régime pluviométrique du District Fédéral, a identifié quelques systèmes atmosphériques agissant sur le domaine d'étude et a montré que la période de sécheresse arrive dans les mois d'avril à septembre (automne hiver), pendant que la période où sont attendues les pluies plus fréquentes va d'octobre à mars (printemps hiver), en tenant compte qu'avril et octobre représentent les périodes de transition du pluvieux au sec respectivement.

Afin d'établir la relation entre le climat et l'incidence des maladies respiratoires, on a choisi d'étudier la période de 2001 à 2004, et l'étape suivante a été l'obtention de données météorologiques (température de l'air, humidité relative, précipitation pluvieuses, direction du vent et pression atmosphérique) et de santé (nombre de décès, de soins et d'hospitalisation). Ces données concernant la période choisie, ont été obtenues auprès de l'Institut National de Météorologie et du Système de Notifications et Aggravements Notifiés (SINAN/TABWIN/SIM), du Secrétariat de Santé de l'Etat (SES) du District Fédéral, et du Ministère de la Santé, à travers le Système d'Informations Hospitalières du Système Unique de Santé (SUS).

Avec les informations obtenues, le pas suivant a été le croisement des données météorologiques avec celles concernant la mortalité et le nombre de traitements et d'hospitalisations causées par des maladies respiratoires du District Fédéral.

## 3. Résultats obtenus

La corrélation des données de mortalité et d'hospitalisations avec les données météorologiques a montré que certaines situations atmosphériques se traduisent par un accroissement des maladies respiratoires. Les basses températures sont responsables par la diminution de la capacité de dispersion de l'air, la chute de l'humidité relative provoque l'augmentation de la quantité de particules sèches dans l'air et la diminution des pluies empêche le nettoyage de l'atmosphère, provoquant l'élévation des niveaux de pollution et poussière (Castro, 2000).

De 2001 à 2003, le plus grand nombre de décès causé par des infirmités du système respiratoire est arrivé au mois de juillet quand les températures ont décliné sensiblement et les pluies ont pratiquement cessé laissant la place à de l'air plus froid et sec, ce qui peut être prouvé par les valeurs d'humidité relative de l'air, qui en plusieurs jours a été proche de 20% dans les horaires de températures plus élevées. Pendant l'année de 2004 la mortalité a été plus grande au mois de mars, ce qui s'explique par l'occurrence de températures très hautes, suivies de fortes précipitations et un refroidissement significatif de l'air, en tenant compte que, selon Sorre (1951), les brusques changements de temps peuvent conduire à la déclaration et à l'aggravation des maladies.

En ce qui concerne les soins et les hospitalisations, on en a observé l'augmentation à partir du mois d'avril quand arrive la transition de la période pluvieuse à la période sèche. Cependant, le plus grand nombre de soins apparaît dans le trimestre de juin à septembre. A nouveaux, on observe que les patients ont été victimes du déclin de la température de l'air et de la fin de la période de pluies. Ferreira (2003) affirme que ces conditions atmosphériques sont responsables principalement par l'augmentation la concentration des particules inhalables dans l'air qui pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire aidant à causer des maladies.

Sobral (1988) montre que la diminution de la température de l'air et de la précipitation contribuent pour la diminution de la qualité de l'air respiré. Au District Fédéral, la période de mai à septembre est la plus critique car les conditions atmosphériques dominantes contribuent pour que les particules de poussière, des poils, des bactéries et les particules inhalables restent en suspension et, quand aspirées, arrivent aux cavités des poumons avec l'air gelé causant des infections et emmenant à des hospitalisations. On croit que dans le mois de juillet ces facteurs deviennent plus accentués et que cela est la cause de l'augmentation du nombre de décès dans ce mois. Situation semblable a été décrite par Ferreira (2003) dans une étude sur climat et santé à Belo Horizonte, Brésil.

## Conclusion

A partir de l'analyse des résultats obtenus, il est possible de conclure qu'il y a une relation directe entre les maladies du système respiratoire et les conditions météorologiques.

Dans le cas du District Fédéral on a observé qu'on parvient à une augmentation du nombre d'hospitalisations et de soins médicaux, ainsi qu'à l'augmentation de taxes de mortalité, à la mesure que la température de l'air, l'humidité relative et les pluies commencent à diminuer, ce qui arrive de façon plus accentuée pendant les mois de mai à septembre, c'est à dire, dans la période automne-hiver.

En tenant compte qu'il n'est pas possible d'intervenir dans les conditions atmosphériques sur une grande échelle, il est nécessaire d'adopter des mesures qui cherchent l'amélioration des conditions de l'environnement et des soins médicaux de la santé publique.

Les recherches sur les relations entre santé, climat et autres facteurs de l'environnement sont de grande importance et l'identification des périodes de plus grande occurrence des maladies du système respiratoire représente une contribution pour l'amélioration de la qualité des soins car si on sait quand il aura plus de manifestations d'une certaine maladie, il sera possible de réaliser un planning pour que les soins aux malades soient faits d'une façon plus efficace.

## Bibliographie

- BARROS, J., 2003. *A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo. Dissertação de mestrado.*
- CASTRO, A., 2000. *Clima urbano e saúde: as patologias do aparelho respiratório associadas aos tipos de tempo no inverno, em Rio Claro-SP.* Tese de doutorado
- FERREIRA, C., 2003. *Clima e saúde: doenças respiratórias do inverno, em Belo Horizonte.* Revista ietec
- SOBRAL, H., 1988. *Poluição do ar e doenças respiratórias em crianças da grande São Paulo: um estudo de geografia médica.* Tese de doutorado.
- SORRE, M., 1951. *Les fondements de la géographie humaine. Tome premier: les fondements biologiques.*



## LES INCENDIES DE LA VÉGÉTATION DU PARC NATIONAL DE BRASÍLIA ET LEURS CONSÉQUENCES DANS L'ATMOSPHÈRE DE L'ESPACE URBAIN DE LA CAPITALE BRÉSILIENNE.

W. CANDIDO de OLIVEIRA, M. L. PELUSO, D. VIECILI COSTA MASINI

Departamento de Geografia, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro — ICC Norte — Subsolo  
— Módulo 23, 70.910-900, Asa Norte, Brasília, DF, Brésil;  
[wcandido@solar.com.br](mailto:wcandido@solar.com.br).

### Résumé

Dans le *Planalto Central* (plateaux de la région centrale du Brésil) se trouve la formation végétale du *Cerrado*, très susceptible d'incendies surtout pendant la saison sèche. Hors des perturbations naturelles, le feu, un outil agricole utilisé pour la préparation du sol, en plus de détruire la faune et la flore, peut produire des modifications dans les bilans radiatifs et comme probable conséquence, le changement du climat urbain. Le « Parque National de Brasília », situé près de la capitale, souffre des incendies annuels. Des données de ces zones ont été analysées depuis 1980 dans le but de montrer les modifications dans l'atmosphère urbaine. Il y a eu 223 incendies en dix ans, dont presque 90% ont une origine anthropique. Les incendies ont modifié le régime thermique et changent le bilan d'énergie en produisant un microclimat. Les gaz libérés peuvent être transportés à d'autres régions par l'action des vents, augmentant la zone d'influence des incendies dans le Parc National de Brasília.

**Mots clés :** *Cerrado*, feu, climat urbain, anthropique, atmosphère.

### Abstract

In central plateaus of Brazil is found a specific vegetal formation named *Cerrado*, which is susceptible to forest fires, especially in the dry season. Fire is used as an agricultural tool for preparation of the ground, besides destroying the fauna and the flora it can produce alteration in the re-irradiation and as probable consequence modify the urban climate. The Brasília National Park, located next to the capital, has been suffering annual burn. Data had been analyzed, since 1980, with the intention to show alterations in the urban atmosphere caused by the fire inside the Park. There were 223 occurrences of forest fires in ten years, of which almost 90% were probably caused by human. The forest fires modify the thermal measurements and the energy average values, creating a microclimate. The set free gases can be carried to other regions by the wind's action, increasing the area influenced by the forest fires in nearby places.

### Introduction

En 1970 le signifié de la publication *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, qui avait été produite encore dans les années 50 par la fondation Wenner, a été compris et on a commencé à étudier la géographie physique sous la perspective socio-économique. Dorénavant, l'activité de l'homme est considérée comme un des possibles modificateurs des systèmes de l'environnement physique.

Nos ancêtres ont inventé l'agriculture il y a 11 mille ans environ, à peu près à la même époque où les concentrations atmosphériques de méthane et CO<sub>2</sub> sont arrivées au sommet. Si les concentrations de ces gaz avaient suivi la même tendance des périodes interglaciaires précédentes, comme on attendait, elles auraient décliné jusqu'au début de l'ère industrielle. Au lieu de diminuer, les courbes des deux gaz se sont inversées et ont commencé à croître petit à petit.

Une pratique courante liée à l'agriculture, la déforestation, fournit une explication plausible au début de l'anomalie de la courbe du CO<sub>2</sub> « (...) le brûlis devient un phénomène important dans maintes phytophysiognomies, mais particulièrement dans les régions de savane » (Goldammer & Crutzen, 1993). D'après Mistry (1998), l'utilisation du feu dans l'agriculture a un bas coût associé au maniement de grandes aires et a pour fonction d'ouvrir de nouvelles zones d'exploitation, éliminer les espèces indésirables et accélérer la repousse. Si les arbres tombés étaient brûlés ou s'ils étaient laissés pourrir sur place, leur carbone aurait oxydé, et serait arrivé dans l'atmosphère en tant que CO<sub>2</sub>. Au cours du processus d'oxydation, plusieurs gaz tels que CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> et des oxydes de

nitrogène ( $\text{NO}_x$ ) sont libérés dans l'atmosphère et peuvent, dû au déplacement des masses d'air, être transportés vers les zones urbaines.

Des études montrent que l'utilisation de combustibles fossiles est responsable d'approximativement 75% de l'ajout de  $\text{CO}_2$  à l'atmosphère, tandis que les incendies ont causé presque la totalité de l'augmentation restante. Entre 1950 et 1980, la quantité annuelle de  $\text{CO}_2$  injectée dans l'atmosphère a agrandi de 586% dans les pays en voie de développement (Pickering & Owen, 1995). D'après les estimations du tableau Intergouvernemental sur les Changements Climatiques (2001), le gaz carbonique répond à 60% des augmentations de température détectées.

La connaissance de la dynamique de l'atmosphère et des caractéristiques climatiques a toujours attiré les chercheurs en fonction des implications liées aux activités humaines. L'air, un mélange complexe de gaz et vapeurs, contient de minuscules particules de différents types. De la poussière, des cendres et des gaz sont constamment lancés dans l'atmosphère par les vents, les éruptions volcaniques et les incendies. Les polluants atmosphériques sont définis comme des substances qui ont des effets adverses sur les plantes, les animaux (hommes) et/ou matériaux.

Le profil climatique du globe souffre des transformations au fil du temps et produit une succession de tableaux environnementaux. Des pentes résiduels, des paleo-sols, des dépôts de fossiles, des associations végétales, etc., prouvent les changements considérables dans les caractéristiques climatiques en macro, méso et micro échelles, fruits des changements opérés dans la dynamique atmosphérique, c'est-à-dire, dans les standards de circulation dans les moyennes et petites altitudes.

Les changements du comportement atmosphérique d'une année à l'autre ne veulent pas nécessairement dire variation climatique. Il est important qu'ils aient lieu dans une séquence considérable d'années pour définir une tendance statistique indicatrice des température. Le climat est un résultat complexe auquel participent l'atmosphère, les océans, les superficies solides (de végétation ou pas), la neige et la glace, et qui présente une grande variété dans l'espace et le temps.

Les changements climatiques peuvent avoir lieu sous des intervalles indéterminés, notamment quand ils sont associés à la présence de micro particules. En l'occurrence des éruptions volcaniques de violence inhabituelle, des volumes considérables de cendres sont jetés dans l'atmosphère en perturbant les processus d'absorption, transformation et réflexion de l'énergie solaire. Les conséquences seraient les modifications dans la température moyenne, dans les valeurs de l'humidité relative et dans les totaux de précipitation et régime des vents. Un événement dans des proportions plus petites pourrait causer des modifications telles que le feu.

Les questions évoquées sur les mécanismes responsables par les modifications climatiques sont nombreuses et leurs réponses sont encore insatisfaisantes. Elles peuvent se passer sous des formes très variées et dans des différentes échelles, une fois que l'atmosphère est un système thermodynamique qui peut osciller d'un volume microscopique à un planétaire et depuis une intervalle très brève (secondes), jusqu'à une très longue (millénaire).

La prise de conscience des problèmes environnementaux s'accroît à cause de la tension démographique, surtout dans les villes. La croissance urbaine désordonnée mène vraisemblablement à la dégradation du sol, des eaux et de l'air. Dans le cas particulier de l'air, la ville produit des modifications importantes par rapport aux zones qui l'entourent, voici l'origine de la conception de climat urbain. Les conséquences des modifications climatiques urbaines sont nombreuses, néanmoins, il y en a quelques unes qui, en fonction de la perception de l'homme, deviennent plus significatives notamment les incendies de la végétation et les possibles modifications atmosphériques urbaines en conséquence de ces incendies.

Cette recherche a l'objectif général de récolter des données sur les conséquences des incendies dans le Parc National de Brasilia et les probables modifications de l'atmosphère du espace urbain. Ce lieu a été choisi car il est situé à proximité du centre urbain.

## 2. Caractérisation de la zone d'études.

Au cours des trois dernières décennies, les régions du Centre-Sud du Brésil ont changé du point de vue de l'organisation humaine. On a incorporé des cadres de vie modernes qui ont étouffé les anciennes structures sociales et socio-économiques. Une partie de cette grande modification résulte des nouveaux réseaux routier et des nouvelles structures énergétiques, en plus d'une vocation des sols pour les activités agricoles. Dans ce processus, la création de Brasilia a été sûrement fondamentale pour la modification démographique du Brésil Central. Dans cette zone il y a une formation de savane tropicale qui a des rapports physiologiques avec l'Afrique et l'Australie avec des arbres et des arbustes répandus sur une strate herbacée. Ce biome est appelé *Cerrado*, d'après Mares(1986), le *Cerrado* contient la plus grande diversité du continent en ce qui concerne les espèces endémiques. Il est « le deuxième plus grand biome du Brésil occupant approximativement 1,8 millions de kilomètres carrés » (Coutinho, 1990), approximativement 20% du territoire national. Dias (1994) a estimé que seulement 7% de ce paysage naturel demeure préservé.

Le climat de cette région est tropical et semi-humide. La température moyenne varie de 22 à 24 °C (maximum absolu de 40 à 42°C et minimum absolu de 4 à 8°C) en un an. La précipitation moyenne annuelle varie de 1500 à 1750 mm, la plupart de la précipitation a lieu dans la saison des pluies (octobre à avril), il y a une saison sèche bien définie (mai à septembre) dans laquelle les incendies sont fréquents. Des travaux publiés par divers de chercheurs montrent que dans plusieurs occasions et dans des biotypes spécifiques dans le biome *Cerrado*, le feu est une des variables qui font que les caractéristiques spécifiques de ce biotype se maintiennent.

Le Parc National de Brasilia existe depuis 1961 et a une surface de 28 milles hectares (15° 35' – 15° 45'S ; 48°05' – 47° 53' W). La végétation du parc obéit à trois typologies : le champ, le *Cerrado sensu strictu* et la forêt de galeries. Dans les champs il y a une prédominance de graminées et absence de strate supérieure. Dans le *Cerrado sensu strictu* il y a une prédominance d'arbres et arbustes de taille réduite et, le long des rivières et ruisseaux, où les conditions de sol et humidité sont plus favorables, se trouvent les forêts de galeries. Le terrain local a des légères ondulations facilitant les déplacements d'air.

## 3. Résultat et discussion

Il y a eu 223 occurrences d'incendies de forêts, dans la période de 1980 à 1990, dont 87% ont une origine anthropique, dans la période de 1980 à 2001, les registres ont été annuels, à l'exception de 1992 (Coelho, 2002). Dans cette période, l'équivalent à approximativement 67 mille hectares ont été brûlés, avec les données phyto-physiologiques on a calculé une biomasse de 510 mille tonnes effectivement brûlées (Image 1).



Image 1: Localisation géographique du Parc National avec représentation des occurrences d'incendies dans la période de 1980 à 1990.

Dans les zones brûlées du *Cerrado* les variations de température entre le jour et la nuit dans des sols brûlés ont été plus grandes et indiquent « qu'il y a eu une plus grande pénétration de la chaleur dans le sol pendant la journée et une plus grande libération de chaleur pendant la nuit » (Dias 1996). Ceci peut être expliqué par la différence dans le bilan d'énergie due à la modification de l'albédo dans le sol exposé, qui reçoit une plus grande radiation solaire et perd plus d'énergie par évaporation. Le montant moyen de l'albédo est de 47% plus petit que dans les sols non brûlés, et 57% plus petit que dans des sols découverts, probablement dû aux cendres qui l'ont noirci. La différence dans l'amplitude thermique arrive à 15°C entre les sols brûlés et non brûlés. (Dias 1996).

#### **4. Les données sont insuffisantes pour conclure sur les modifications climatiques.**

Il arrive des troubles momentanés dues au matériel en suspens : des cendres, de la fumée et une légère modification dans la concentration de CO<sub>2</sub>. Dû à la position de la ville de Brasília, à nord-ouest du Parc étudié, la région urbaine est touchée par les incendies périodiques. Ainsi, de nouveaux programmes de prévention et combat aux incendies à l'intérieur du Parc sont adoptés. Ce qui explique la diminution de l'occurrence des incendies dans la période de 1999 à 2004.

#### **Références bibliographiques.**

- COELHO, H. C.. 2002. Histórico de Regime de Fogo do Parque Nacional de Brasília. Tese de Mestrado - Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- COUTINHO, L. M.. 1990. Ecological effects of fires in brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (ed). Fire in Tropical Biota. Berlin: Springer-Verlag. p.82-105.
- DIAS, B. F. S.. 1994. A conservação da natureza. In: Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- DIAS, B. F. S.; MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.. 1996. Efeitos de queimadas no microclima de solos de campos de cerrado - DF/Brasil. Simpósio sobre o impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. Congresso de Ecologia do Brasil.
- GOLDAMMER, J.G. ; CRUTZEN, P.J.. 1993. Fire in the environment: Scientific rationale and summary of results of the Dahlem Workshop. In: Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires (P.J. Crutzen and J.G. Goldammer, eds.), 1-14. John Wiley & Sons, London.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. 2001. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/index.htm> . Acesso em 10 fev. 2005.
- MARES, M. A.; ERNEST, K. A.; GETTINGER, D. D.. 1986. Small Mammal Community Structure and Composition in the Cerrado Province of Central Brazil. Journal of Tropical Ecology, 2: 289-300.
- MISTRY, J.. 1998. Decision-making for fire use among farmers in savanas: na exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. Journal of Environmental Management, London, v. 54, p.321-334.
- PICKERING, K.T. ; OWEN, L.A.. 1995. An Introduction to Global Environmental Issues.

## LE BILAN HYDRIQUE DANS LES SAVANES DU CONGO

M. MPOUNZA et H. B. GOMA – BOUMBA

*Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Université Marien Ngouabi  
B.P. 3069 – Brazzaville Congo  
e-mail : [mpounza@yahoo.fr](mailto:mpounza@yahoo.fr)*

### Résumé

Le bilan hydrique potentiel est négatif en moyenne pendant la période de juin à septembre dans tous les sols des savanes du Sud-congo, alors que des valeurs positives sont observées uniquement dans tous les types des sols d'octobre à décembre et de mars à mai. Cependant, l'irrégularité de pluies de mars à mai met en évidence les déficiences hydriques (DE) surtout sur les sols sableux. Cette déficience pourrait s'allonger démesurément jusqu'en novembre sur le plateau des Cataractes avec l'apparition des feux et la difficulté de calage de certaines comme l'arachide. La spatialisation des déficiences hydriques par le modèle SARRA donne une approximation de la quantité d'eau dans le sol.

**Mots clés:** Congo, Savanes, Déficience hydrique

### Abstract

The water balance is negative on average during the period from June till September in all the grounds of the savannas of the South-Congo, while positive values are only observed in all the types of grounds from October till December and from March till May. However, the rainy irregularity from March till May puts in evidence the water deficiencies (WD) especially on the sandy grounds. This deficiency could lengthen excessively until November on the plateau of Cataracts with the appearance of fires and the difficulty of wedging of some as the groundnut. The specializing of the water deficiencies by the model SARRA gives an estimate of the quantity of water in the ground.

**Keys words :** Congo, Savannas, Water deficiencies.

### Introduction

L'étude des bilans hydriques des sols dans les savanes du Congo intervient ici, aussi dans la caractérisation climatique de l'espace Congo. En effet, le milieu naturel du Congo couvert à 65% des formations forestières et à 35% par des formations herbeuses ou de savane. Ces savanes sont situées principalement au sud du Congo et incluent les unités physiques dites des *plateaux Batéké*, qui sont d'immenses surfaces planes, formées des sols sableux, très perméables ; de *plateau des Cataractes*, ensemble des collines avec des fortes pentes où les sols sont compacts peu perméables ; et de la *vallée du Niari*, creusée par l'érosion à travers une ancienne pénéplaine dont les buttes témoins subsistent. Ces savanes se trouvent dans une zone tropicale humide où la pluviométrie est le facteur climatique le plus souvent limitant pour le développement des cultures annuelles. L'un des problèmes importants auprès des agriculteurs dans les savanes du sud du Congo est la détection de la meilleure date de semi compte tenu des contraintes climatiques et des exigences culturales. La détermination de ces périodes déficitaires ou excédentaires et la mise en évidence de leur intensité, peut être intéressante dans la conduite des travaux agricoles et la gestion des bas fonds pour les aménagements ruraux.

A partir des seules précipitations, il est difficile de mettre en évidence des structures spatio-temporelles homogènes pour des applications agricoles, de sorte que le bilan hydrique devient indispensable dans le cadre d'une étude agroclimatologique. L'agriculture, exclusivement pluviale dans cette zone de savane du Congo, y représente la seule ressource pour la majorité de la population. L'analyse agroclimatique que nous développons ici permet de déterminer la date climatiquement optimale pour le semis où le risque de déficit ou d'excès d'humidité dans le sol sera pris en compte c'est-à-dire celle qui assurera, avec la probabilité maximale, la satisfaction des exigences hydriques de la culture. L'objectif général est l'optimisation du calendrier agricole dans cette région la plus importante du point de vue agricole

### 1. Données et Méthode

Les données climatiques (précipitations, températures, insolation, etc.) utilisées ont été obtenues auprès de la Direction de la Météorologie Nationale du Congo, sur la période 1950-1991 au pas de temps mensuel. Les bilans hydriques reposent sur la différence des entrées (précipitations) et des sorties (évaporation, l'écoulement, l'infiltration' profonde et l'évapotranspiration). Une estimation du bilan hydrique peut être obtenue à partir de la comparaison au cours de l'année des valeurs de l'ETP et l'ETR (Mounier, 1994) et sert de base aux études agroclimatologiques (Samba et Diop, 2000), en intégrant la prise en compte des capacités de la réserve en eau du sol. Les différents paramètres étudiés (figurent dans l'encadré 1 ancien article). Les bilans hydriques ont été déterminés de façon empirique ou simulé. Une cartographie des paramètres agroclimatiques a été réalisée. Cette cartographie montre que la répartition du bilan hydrique au cours de la saison est très inégale et sa variabilité interannuelle sont une contrainte pour les pratiques culturaux.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Les Bilans Hydriques Potentiels (BHP) mensuels

Le bilan hydrique potentiel est la variable indicatrice la plus pertinente du déficit hydrique. Il est obtenu par la différence entre la pluie et l'ETP. L'analyse du **tableau 1** montre qu'à l'échelle de l'année, le BHP est toujours excédentaire; toutefois, les excédents sont nettement plus faibles dans le sud que dans la partie nord où les précipitations sont plus abondantes. Cette approche globale ne fait pas ressortir les nuances inter-mensuelles, alors que selon l'époque de l'année, le BHP peut être très différent (*figure 1*).

Tableau 1 : BHP annuel des stations utilisées

| Stations    | P    | ETP   | P-ETP |
|-------------|------|-------|-------|
| Brazzaville | 1385 | 1282  | 102   |
| Djambala    | 2053 | 1201  | 853   |
| Mpouya      | 1557 | 1446  | 111   |
| Mindouli    | 1554 | 1154  | 400   |
| Kinkala     | 1401 | 1264  | 136   |
| Boko        | 1202 | 1274  | -72   |
| Mouyondzi   | 1349 | 1155  | 194   |
| Loubomo     | 1255 | 1314  | -59   |
| Loudima     | 1047 | 1314* | -267  |
| Vindza      | 1678 | 1200  | 478   |
| Mayama      | 1581 | 1274  | 307   |
| Nkayi       | 1175 | 1314* | -139  |

\* valeurs extrapolées de Loubomo

En moyenne, la saison sèche de juin à septembre est déficitaire dans toute la région des savanes du Congo (est -281 mm). Toutefois, le plateau des Cataractes accuse un déficit de 312 mm sur, la même période. La première saison des pluies d'octobre à décembre se caractérise par un bilan hydrique potentiel moyen excédentaire, faible pour le plateau des Cataractes élevé pour la partie nord (les plateaux Batéké). Les bilans hydriques potentiels montrent une diminution des excédents au cours de la saison janvier/février, sur le plateau des Cataractes. La dernière saison de mars à mai est marquée par une hausse modérée des excédents hydriques. Les mois de novembre et d'avril sont excédentaires 8 années sur 10 dans l'ensemble de la région, sauf pour les stations de Brazzaville et M'pouya où le mois d'avril reste déficitaire. Les mois de mai à septembre, de janvier et de février sont toujours déficitaires. En revanche, 2 années sur 10, le BHP est excédentaire entre octobre et mai et déficitaire entre juin et septembre. Partout la médiane et la moyenne sont excédentaires d'octobre à mai et déficitaire de juin à septembre.

La station de Djambala (la plus arrosée avec 2050 mm/ an et l'une des plus fraîches) présente une situation exceptionnelle. Elle connaît un bilan positif qu'étant une région bien pourvue en eau, les

savanes ne sont pas épargnées par la sécheresse, il présente une forte occurrence de mois déficitaires au moins 8 années sur 10.

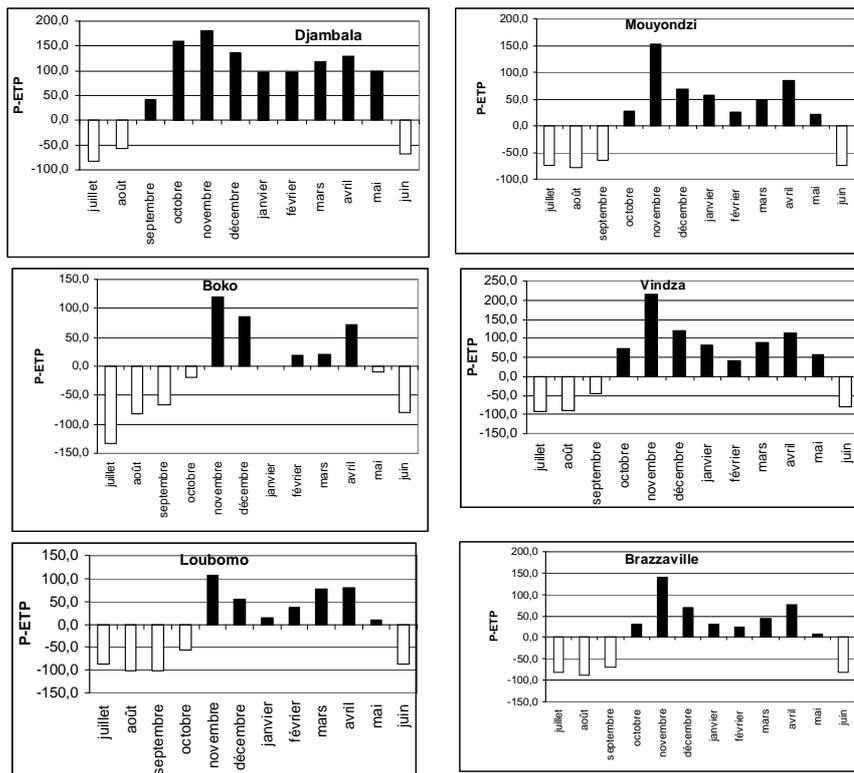


Figure 1 : Bilan Hydrique Potentiel mensuel des quelques stations utilisées

## 2.2. Le déficit hydrique (DE)

De façon générale, dans les savanes, la période d'excédent hydrique concerne les mois d'octobre à mai, exception faite sur le plateau des Cataractes (station de Boko) et dans la vallée du Niari (Loubomo et Loudima) où cette période concerne les mois de novembre à avril. Partout dans la région le mois d'octobre marque le début de la recharge de la RU et les mois de juin ou juillet, le début de la sollicitation de celle-ci par l'évapotranspiration réelle. En fonction, de la valeur de l'ETR et de l'ETP, on a calculé le déficit hydrique (DE), qui permet d'évaluer la sécheresse agromatologique. En effet, l'écart entre la demande climatique potentielle et l'évapotranspiration réelle traduit l'intensité cette sécheresse. Le déficit hydrique serait donc un bon indicateur de sécheresse dans un milieu réputé pour sa pluviométrie relativement abondante, Le **tableau 2** représente les déficiences hydriques mensuelles des différentes stations utilisées. A partir des ajustements statistiques de Samba et Diop (2000) tenant compte du contexte climatique tropical humide des savanes du Congo on peut distinguer l'intensité la répartition spatio-temporelle de déficience hydrique. La période d'octobre à mai étant caractérisée par un bilan hydrique potentiel positif, nous recherchons les périodes de déficience hydrique entre juin et septembre. L'analyse de la situation moyenne montre que les faibles déficiences sont observées pendant le mois de juin entre Djambala et Mindouli, tandis que la bordure orientale et méridionale de la région est subsèche, de même d'ailleurs que la vallée du Niari (**tableau 2**). Le mois de juillet est subsec partout, exception faite pour la partie méridionale du Congo. Boko est hypersec (DE=86 mm), alors que M'pouya et Loubomo reste secs (DE= 62 mm). En août, une période sèche règne sur toutes les savanes du

Congo, avec toutefois Djambala restant subsec ( $DE = 32$  mm). En septembre, la région se divise en deux grands ensembles homogènes : sur la moitié nord, le mois est subsec, lorsqu'il est sec dans le sud. Boko et Loubomo demeurent faiblement déficient et subsec et en octobre, alors que le reste de la région a entamé un bilan hydrique potentiel positif.

*Tableau 2 : La déficience hydrique ( $DE=ETP-ETR$ ) de quelques stations des savanes du Congo : un mois de faible déficience  $DE < 25$  mm/ mois, où l'offre climatique ne satisfait plus la demande (déficit d'évaporation  $ETR < ETP$ ) ; un mois subsec ( $25 \leq DE < 50$  mm/mois), au cours duquel commence la sollicitation de la réserve utile, à ce seuil de déficience, l'épuisement de la réserve utile devient plus important ; un mois sec ( $60 \leq DE < 80$  mm/mois), où la réserve utile commence à atteindre ses valeurs minimales; la sécheresse est très prononcée et se caractérise par des fentes de dessiccation, la végétation tend à se dépouiller au maximum de ses feuilles ; un mois hypersec avec  $DE > 80$  mm/ mois, où l'eau dans le sol est difficilement extraite par les racines des plantes.*

|             | juillet | août | septembre | octobre | novembre | décembre | janvier | février | mars | avril | mai | juin | Année |
|-------------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|---------|---------|------|-------|-----|------|-------|
| Mpouya      | 61,8    | 68,0 | 0,0       | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 28,8 | 322,9 |
| Djambala    | 30,3    | 32,3 | 0,0       | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 22,4  |
| Vindza      | 55,5    | 70,6 | 36,2      | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 13,2  |
| Brazzaville | 33,6    | 54,7 | 51,6      | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 25,8  |
| Kinkala     | 49,3    | 66,2 | 62,7      | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 23,6  |
| Mindouli    | 40,4    | 57,0 | 52,2      | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 7,9   |
| Mouyondzi   | 43,2    | 61,3 | 56,9      | 0,0     | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 17,3  |
| Loubomo     | 61,5    | 86,4 | 94,8      | 55,1    | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 0,0  | 23,5  |
| Boko        | 85,7    | 67,7 | 58,5      | 17,5    | 0,0      | 0,0      | 0,0     | 0,0     | 0,0  | 0,0   | 0,0 | 6,3  | 12,6  |

## Conclusion

L'approche du bilan hydrique montre, l'existence d'une période de déficit hydrique dans les savanes du Congo avec l'accentuation des déficiences hydriques. Les plateaux Batéké ont un bilan hydrique plus favorable, tandis que le plateau des Cataractes et la vallée du Niari a des déficits plus fréquents et plus longs. La détermination de ces périodes déficitaires ou excédentaires et la mise en évidence de leur intensité, peut être intéressante dans la conduite des travaux agricoles et la gestion des bas fonds pour les aménagements ruraux.

## Bibliographie

MOUNIEUR J., 1994 : *Données quantitatives : bilan hydrique, bilan hydrologique, dynamique de l'eau et télédétection* QA 94, 125-32.

SAMBA G. et Diop M., 2000 : Bilan hydrique dans la région du Pool (République du Congo), *Cahier Agriculture*, 9 :47-53

## **CLIMAT, TOURISME ET AMENAGEMENT DE LA COTE ADRIATIQUE: TYPES DE TEMPS POUR LE TOURISME D'ETE PENDANT LA PERIODE 1971-2003**

**S. FRATIANNI\*, A. BIANCOTTI\*, A. GIUFFRIDA\*\***

*\*Dipartimento di Scienze della Terra –Università degli Studi di Torino - Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino, Italie.  
Tel. 0039 0116705138 Fax 0039 0116705146,*

*[simona.fratianni@unito.it](mailto:simona.fratianni@unito.it)*

*\*\*Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica (CNMCA) di Pratica di Mare(ROMA) – Via di  
Pratica di Mare 45, 00040 Pomezia (Roma)  
[giuffrid@meteoam.it](mailto:giuffrid@meteoam.it)*

### **Resumé**

Pour ce travail on a considéré les données horaires (à 12 heures) de 8 stations météorologiques à relèvement automatique et manuel de l'Aéronautique Militaire, situées sur les cotes de la mer Adriatique. La période des analyses climatiques commence en 1971 jusqu'en 2003 et comprend les mois de mai jusqu'à octobre. On a suivi la méthode de J.P. Besancenot, J. Mounier et F. de Lavenne (1978), une typologie permettant ainsi d'individualiser les combinaisons quotidiennes, les plus marquantes, des principaux éléments du climat effectivement vécu par le touriste. L'idéal météorologique du vacancier moyen a conduit à distinguer neuf types de temps, pour la saison d'été, aux latitudes «tempérées». L'étude de types de temps d'été se révèle très important pour évaluer les potentialités touristiques d'un site.

**Mots-clés:** Types de temps d'été selon J.P. Besancenot, J. Mounier et F. de Lavenne, température, nébulosité, précipitations, heures de soleil, vitesse du vent, tourisme de plein air.

### **Abstract**

This paper examines hour's data (to 12 hour) from 8 weather stations with manual and automatic survey of Air Force placed on of the coasts of Adriatic Sea. The period of climatic analyses begins from 1971 until 2003 and it includes the months from May to October. We have followed the method of J.P. Besancenot, J. Mounier and F. de Lavenne (1978), a classification that allow to individualize the daily most important combinations of principle climatic elements feel from the tourists. Meteorological ideal middle tourist discriminate nine weather types for the summer season, to temperate latitudes. The study of weather types is very important to value the tourist potentiality of a site.

**Key-words:** summer's weather types, according to J.P. Besancenot, J. Mounier and F. de Lavenne, temperature, cloudiness, rainfall, sun's hours, wind speed, open air tourism.

### **Introduction**

J.P. Besancenot, J. Mounier et F. de Lavenne (1978) ont établi une typologie permettant ainsi d'individualiser les combinaison quotidiennes les plus marquantes des principaux éléments du climat effectivement vécu par le touriste. Le principe consiste à partir des exigences fondamentales du touriste et à définir comme le plus favorable le type de temps qui, tout en garantissant aux vacanciers une bonne sécurité, concilie un agrément suffisant pour séduire la clientèle et un confort assez marqué pour que la détente recherchée ne soit pas compromise par une trop forte perturbation de l'équilibre biologique entre l'individu et son environnement. L'idéal météorologique du vacancier moyen a conduit à distinguer neuf types de temps, pour la saison d'été, aux latitudes «tempérées» (Tab.1).

Les sept premiers se prêtent aux activités touristiques soit parfaitement (type n.1), soit avec de légères réserves (types n.4 et 5), tantôt d'un certain degré d'inconfort (types n. 2, 3, 6 et 7). Au contraire, les deux derniers types (n. 8 et 8 bis), qui peuvent être inconfortables, désagréables ou cumuler les deux défauts, constituent une gêne quasi insurmontable pour le tourisme de plein air. Le classement se fait normalement en fonction de cinq paramètres: la nébulosité Nb observés, la hauteur d'eau précipitée P (mm), la maximale journalière Tx (°C), la vitesse du vent V (m/s) et la tension de vapeur U relevée (hPa).

## 2. Méthode

Les sites météorologiques examinés se trouvent à différent niveau d'altitude (de 2 m de Marina di Ravenna et Marina di Ginosa à 112 m de Santa Maria di Leuca), (Tab.2).

Tableau 1 – Légende descriptive des types de temps d'été selon la classification de J. P. Besancenot et J. Mounier.

|  |   |
|--|---|
| <b>TRÈS BEAU TEMPS ENSOLEILLÉ</b> <br><b>TYPE 1</b> <br>$I \geq 9 \text{ h}$ ou $Nb \leq 2/8$<br>$D = 0 \text{ h}$ ou $P = 0 \text{ mm}$<br>$25 \leq T_x < 33 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$V < 8 \text{ m/s}$<br>$4 < U < 25 \text{ hPa}$                                 | <b>TEMPS CHAUD ET LOURD</b> <br><b>TYPE 6</b> <br>$I \geq 9 \text{ h}$ ou $Nb \leq 2/8$<br>$D = 0 \text{ h}$ ou $P = 0 \text{ mm}$<br>$T_x \geq 33 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$V < 12 \text{ m/s}$<br>$25 \leq U < 31,3 \text{ hPa}$            |
| <b>BEAU TEMPS ENSOLEILLÉ</b> <br><b>TYPE 2</b> <br>$I \geq 9 \text{ h}$ ou $Nb \leq 2/8$<br>$D = 0 \text{ h}$ ou $P = 0 \text{ mm}$<br>$18 \leq T_x < 25 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$V < 8 \text{ m/s}$<br>$4 < U < 25 \text{ hPa}$                                      | <b>BEAU TEMPS avec VENT FORT</b> <br><b>TYPE 7</b> <br>$I \geq 9 \text{ h}$ ou $Nb \leq 2/8$<br>$D = 0 \text{ h}$ ou $P = 0 \text{ mm}$<br>$18 \leq T_x < 33 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$8 \leq V < 12 \text{ m/s}$<br>$4 < U < 25 \text{ hPa}$ |
| <b>TEMPS FRAIS ENSOLEILLÉ</b><br>en juin et septembre <br><b>TYPE 3</b> <br>$I \geq 9 \text{ h}$ ou $Nb \leq 2/8$<br>$D = 0 \text{ h}$ ou $P = 0 \text{ mm}$<br>$16 \leq T_x < 18 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$V < 8 \text{ m/s}$<br>$4 < U < 25 \text{ hPa}$             | <b>TEMPS DÉFAVORABLE</b> <br><b>TYPE 8</b> <br><b>TOUS LES AUTRES TYPES DE TEMPS, à l'exception du type 8 bis</b>   |
| <b>BEAU TEMPS avec COUVERTURE</b><br>NUAGEUSE PARTIELLE <br><b>TYPE 4</b> <br>$3 \leq I < 9 \text{ h}$ ou $2 < Nb \leq 6/8$<br>$D = 0 \text{ h}$ ou $P = 0 \text{ mm}$<br>$18 \leq T_x < 33 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$V < 8 \text{ m/s}$<br>$4 < U < 25 \text{ hPa}$   | <b>TEMPS POURRI</b> <br><b>TYPE 8 bis</b> <br>$I < 3 \text{ h}$ ou $Nb > 6/8$<br>$D > 3 \text{ h}$ ou $P > 5 \text{ mm}$  |
| <b>BEAU TEMPS avec BREF</b><br>ÉPISODE PLUVIEUX <br><b>TYPE 5</b> <br>$I \geq 3 \text{ h}$ ou $Nb \leq 6/8$<br>$0,1 \leq D < 1 \text{ h}$ ou $0,1 \leq P < 1 \text{ mm}$<br>$18 \leq T_x < 33 \text{ }^\circ\text{C}$<br>$V < 8 \text{ m/s}$<br>$4 < U < 25 \text{ hPa}$ |   |

Tableau 2 - Localisation géographique et période de fonctionnement des stations météorologiques considérées.

| STAZIONI             | QUOTA | LATITUDINE | LONGITUDINE | PERIODO   |
|----------------------|-------|------------|-------------|-----------|
| TRIESTE              | 20    | 45.7°N     | 13.8°E      | 1971-2003 |
| MARINA DI RAVENNA    | 2     | 44.3°N     | 12.2°E      | 1971-2003 |
| CERVIA               | 10    | 44.2°N     | 12.3°E      | 1971-2003 |
| RIMINI               | 13    | 44.0°N     | 12.6°E      | 1971-2003 |
| TERMOLI              | 44    | 42.0°N     | 15.0°E      | 1971-2003 |
| BRINDISI             | 21    | 40.4°N     | 17.6°E      | 1971-2003 |
| MARINA DI GINOSA     | 2     | 40.3°N     | 16.5°E      | 1971-2003 |
| SANTA MARIA DI LEUCA | 112   | 39.5°N     | 18.2°E      | 1971-2003 |

## 3. Résultats

Les variations chronologiques de l'ambiance atmosphérique peuvent être mises en évidence par une schématisation graphique de la fréquence des différents types de temps quotidiens auxquels les vacanciers sont confrontés en chaque endroit.

On a analysé la fréquence de chaque type de temps pour les stations considérés pendant les mois mai-octobre. Le type de temps 4 (*beau temps avec nébulosité partielle*) est présente avec la plus haute fréquence dans toutes les stations. La valeur maximale s'atteint à Trieste et Cervia (35%). Le type de temps 1 (*très beau temps ensoleillé*) occupe la deuxième place de majeure fréquence pour toutes les stations à l'exception de Cervia, Rimini, Termoli, où domine le type 8 (*temps*

*defavorable*). Le type de temps 3 (*temps frais ensoleillé*) présente fréquences presque inexistantes pour toutes les stations (1-2%).

Le type de temps 6 (*chaud et lourd*) est peu présent pour les stations de Rimini, Cervia et Trieste (0-2%). Le maximum est enregistré à Termoli (13%). Brindisi et Termoli présentent la plus haute fréquence (4%) des jours avec type de temps 7 (*beau temps avec vent fort*). A Trieste sont présentes les valeurs de fréquence (3%) les plus élevées du type 8bis (*temps pourri*) avec les précipitations qui dépassent les 5 mm. A partir des résultats obtenus sur les fréquences moyennes de types de temps de mai à octobre, s'est effectuée une classification entre les stations qui se prêtent aux activités touristiques presque parfaitement (haute fréquence de type n.1-4) et celles qui présentent de réserves avec un certain degré d'inconfort (type 5-8bis) (Tab.3, à gauche).

Tableau 3 – Pourcentage de jours dont les conditions climatiques sont favorables (type de temps TT de 1 à 4) ou défavorables (type de temps TT d'5 à 8 bis) au tourisme pendant les mois de mai à octobre à gauche et de juillet à août à droite.

| STATIONS       | TT 1-4 | TT 5-8bis | STATIONS       | TT 1-4 | TT 5-8bis |
|----------------|--------|-----------|----------------|--------|-----------|
| Brindisi       | 76     | 24        | Ravenna        | 86     | 14        |
| S. Maria Leuca | 75     | 25        | Trieste        | 84     | 16        |
| Trieste        | 73     | 27        | Brindisi       | 82     | 18        |
| Ravenna        | 73     | 27        | S. Maria Leuca | 81     | 19        |
| Rimini         | 68     | 32        | Rimini         | 78     | 22        |
| Cervia         | 68     | 32        | Cervia         | 78     | 22        |
| Ginosa         | 67     | 33        | Ginosa         | 74     | 26        |
| Termoli        | 62     | 38        | Termoli        | 63     | 37        |

La station de Brindisi se situe en première position avec 76% des conditions favorables et la dernière est occupée par Termoli surtout pour une bonne fréquence de jours avec type de temps 6 (*chaud et lourd*).

La plupart des personnes vont en vacances sur les côtes de la mer Adriatique pendant les mois de juillet et août. Pour ce motif, il est nécessaire d'élaborer une nouvelle classification de stations en base aux conditions climatiques présentes dans ces mois. Cette fois, Ravenna est en première place et ensuite il y a Trieste; Termoli reste à la dernière place, à cause de la fréquence élevée (37%) de type de temps avec limitations ou défavorables au tourisme (Tab.3, à droite).

Afin de rendre la présentation plus parlante et de faciliter au besoin le regroupement de plusieurs types de temps qui offrent des perspectives assez voisines, une formule séduisante (type n.1) à la base, jusqu'à celles qui resserrent les conditions les moins propices (types 8 et 8 bis), au sommet. La présentation faite en décade semble constituer le pas de temps le plus souple et le plus commode: en dérive la fréquence des différentes conditions climatiques. On peut voir l'exemple de la station de Trieste (Fig.1).

Les meilleures conditions climatiques se trouvent à Trieste pendant la deuxième décade d'août (51% du type de temps 1) et par contre la troisième décade d'août est la plus défavorable au tourisme en plein air pendant la période juillet-août (31% du type de temps 1). Dans la troisième décade d'octobre s'enregistre la plus élevée fréquence de jours avec types de temps 8.

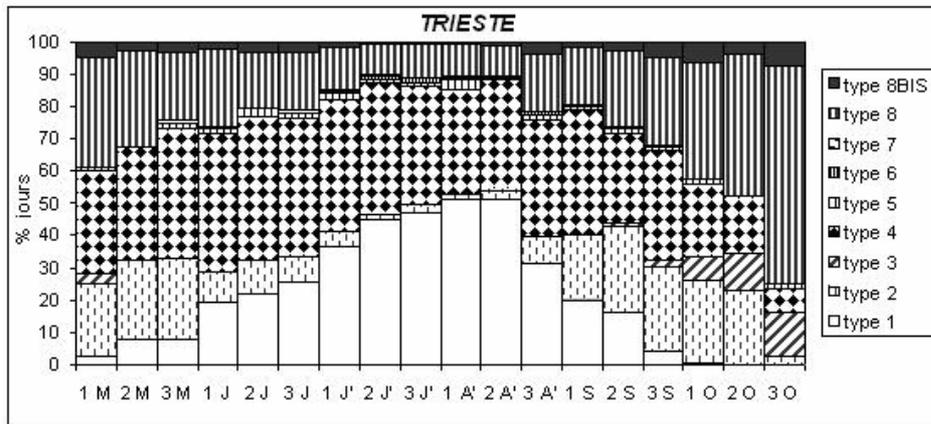


Figure 1 – Diagrammes climatiques saisonniers des stations disponibles. Données décadales, période 1971-2003.

### Conclusion

L'étude de types de temps d'été est très importante pour évaluer les potentialités touristiques d'un site et cette méthode appliquée à quelque station météorologique identifie des situations très différentes qui relèvent la grande gamme et potentialité de nos climats.

Les stations de Trieste, Ravenna, Santa Maria di Leuca, et Brindisi présentent une période étendue favorable au tourisme en plein air parce que toutes les décades de mai jusqu'à octobre ont une fréquence supérieure à 70% de jours dont les types de temps sont entre 1 et 4, en permettant une meilleure distribution des présences touristiques.

Il importe de bien connaître les caractéristiques du climat de chaque lieu, de façon à déterminer avec un maximum de précision quel type de clientèle il peut satisfaire – de façon également à tirer le meilleur profit de ses avantages, tout en minimisant ses éventuels inconvénients, ou en apprenant à composer intelligemment avec eux.

### Bibliographie

- BESANCENOT J.P., 1990: *Climat et tourisme*. Masson Ed., Paris.
- BIANCOTTI A., FRATIANNI S. (2005)- *The research of new raw materials for tourism: the climate and the geotopes*. Bologna, Patron Editore.
- FRATIANNI S., BIANCOTTI A. (2004)- *Types de temps d'été pour la station de Capo Mele (Ligurie, Italie) pendant la période 1964-2003*. Actes du XVII<sup>e</sup> Colloque International de Climatologie, 293-295 pp.
- FRATIANNI S., MOTTA L., 2002: *Andamento climatico in alta Valle Susa negli anni 1990-99*. Studi climatologici in Piemonte, 4, Regione Piemonte.
- FRATIANNI S. (2002) - Une contribution au calcul des indices climatico-touristiques: une exemple dans la haute Vallée de Susa (Nord-Ouest Italie). Publication de l'AIC (Association Internationale de Climatologie), vol. 14, pp. 319-326.

## **THEME 5**

# **CLIMATOLOGIE GENERALE**



## EVALUATION DES DONNEES DU GEOPOTENTIEL A 500hPa PRODUITES PAR LES MODELES DE CIRCULATION GENERALE (MCG) POUR L'EUROPE ET LA MEDITERRANEE.

P. MAHERAS<sup>(1)</sup>, K. TOLIKA<sup>(1)</sup>, CHR. ANAGNOSTOPOULOU<sup>(1)</sup>, E. FLOCAS<sup>(2)</sup>  
et M. VAFIADIS<sup>(3)</sup>

(1) Département de Météorologie et de Climatologie, Université de Thessaloniki 54124, Thessaloniki, Grèce, Tel. 00.30.2310.998471, Fax. 00.30.2310.995392 e-mail: [maheras@geo.auth.gr](mailto:maheras@geo.auth.gr)

(2) Laboratoire de Météorologie, Département de Physique appliquée, Université d'Athènes

(3) Division Hydraulique, Faculté de Technologie, Université de Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Grèce

**Résumé:** L'évaluation des données du géopotential à 500hPa du modèle HadAM3P montre que les indications élaborées sont relativement bien reproduites durant toutes les saisons bien que des erreurs systématiques apparaissent plus en hiver que durant les autres saisons.

**Mots – clés:** géopotentiels, 500hPa, modèle HadAM3P, NCEP, type de circulation

**Abstract:** The data from the atmospheric model HadAM3P has some success in reproducing the mean seasonal patterns at 500hPa geopotential heights, although systematic errors occur more in winter than in the other seasons.

**Key – words:** geopotential heights, 500hPa, model HadAM3P, NCEP, circulation types

### Introduction

Les modèles climatiques fournissent des simulations de pression atmosphérique et de géopotentiels à plusieurs niveaux pour le XXIème siècle à partir de différents scénarios. Ces simulations peuvent être utilisées comme prédicteurs pour développer des méthodes de focalisation (downscaling) pour décrire l'évolution possible des températures et des précipitations ainsi que des phénomènes extrêmes.

L'aptitude d'un Modèle de Circulation Général (MCG) à la reproduction de tels prédicteurs pour la simulation du climat actuel est un critère important pour évaluer la fiabilité des scénarios régionaux climatiques. C'est ainsi que la comparaison, pour un certain nombre des paramètres, entre les données d'observation et les données de simulation permet de mieux choisir quels sont les meilleurs prédicteurs pour faire un modèle statistique de prévision du climat.

### 1. Données et Méthode

On a utilisé les données journalières de géopotentiels au niveau de 500hPa aux points de grille (une valeur par  $\varphi = 2.5^\circ$ ,  $l = 2.5^\circ$ ) de NCEP/NCAR Reanalysis Project (Kalnay et al., 1996), couvrant l'Europe et la Méditerranée sur la période 1960-1990. On a également utilisé les données journalières de géopotentiels HadAM3P (addfa) pour la même période, la même résolution et la même fenêtre que les données NCEP/NCAR. En appliquant la méthode de classification automatique de types de circulation, récemment développée (Maheras et al., 2000) aux données journalières des deux ensembles de données, on a construit deux calendriers de types de circulation pour la période 1960-1990.

A partir de la base de données décrite ci-dessus, on a calculé les valeurs moyennes saisonnières de géopotentiels 500hPa issues des deux ensembles de données ainsi que les valeurs des écarts-types correspondants. On a également calculé les valeurs moyennes saisonnières ainsi que les écarts-types correspondant de deux ensembles de données pour les 14 types de circulation. Une comparaison entre les champs de ces deux ensembles a été faite en utilisant les différences des valeurs saisonnières (HadAM3P-NCEP). Finalement, on a calculé le quotient des écarts-types saisonniers ( $\sigma_{\text{HadAM3P}}/\sigma_{\text{NCEP}}$ ) et on a cartographié les valeurs de ce quotient.

## 2. Résultats

### 2.1 Champs saisonniers de 500hPa

En hiver, les valeurs moyennes du géopotential de 500hPa du modèle HadAM3P apparaissent surestimées en Europe occidentale et en Méditerranée occidentale (max 40gpm) (Figure 1). Au printemps, les valeurs des géopotentials de HadAM3P et de NCEP ne montrent pas des différences significatives pour presque tout l'ensemble de l'Europe. La seule exception se trouve en Europe orientale et aux Balkans où les valeurs de géopotential du modèle présentent une surestimation de l'ordre de 20gpm environ. Durant l'été, les données de simulation présentent des valeurs plus faibles sur toute la région étudiée excepté l'Europe orientale où les différences sont positives. La distribution des isoplètes indiquant la différence des géopotentials à 500hPa pour l'automne est compliquée. C'est ainsi que les données du modèle montrent de bon ajustement avec les données de NCEP pour l'Europe centrale et orientale tandis que les mêmes données présentent une sous-estimation pour l'Europe du sud et au contraire une surestimation pour l'Europe du nord-est.

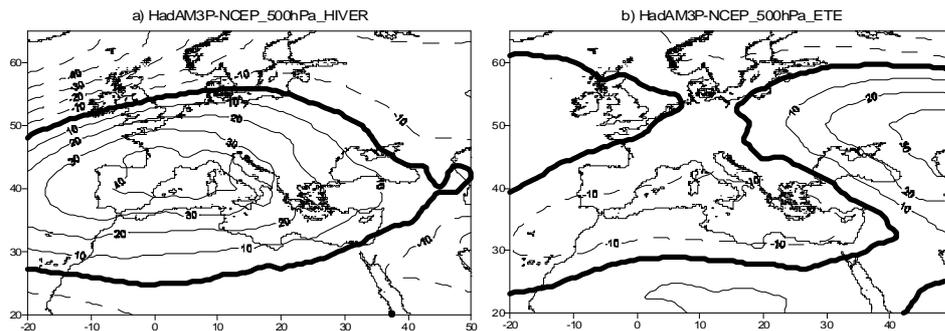


Figure 1. Les champs des différences des valeurs saisonnières (HadAM3P-NCEP) pour l'hiver (a) et l'été (b).

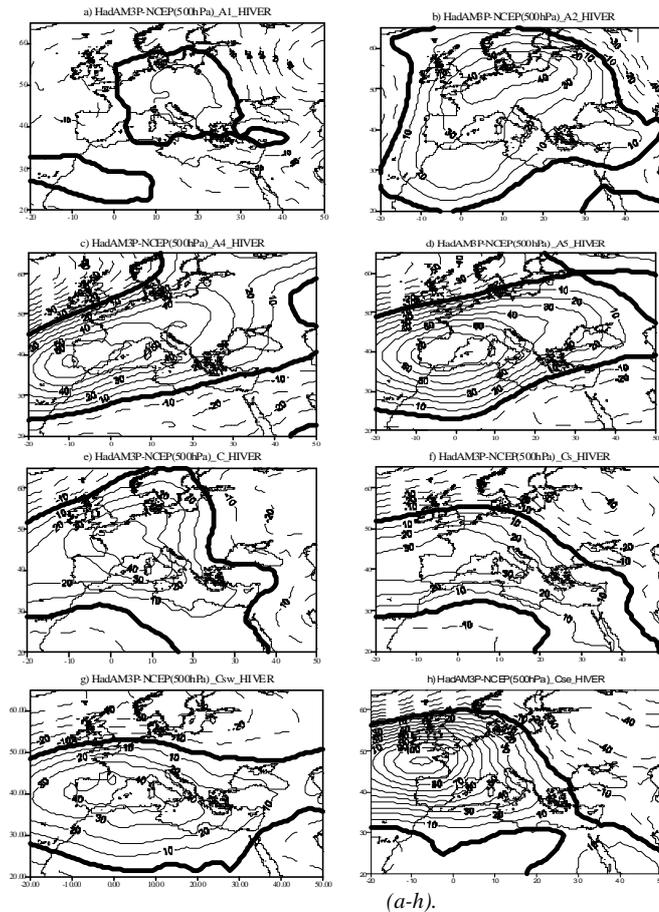
L'étude du quotient des écarts-types pour l'hiver montre que la variabilité du modèle est moindre pour la plus grande partie de l'Europe à l'exception de l'Europe orientale où le quotient est à peu près égal à 1. Au printemps, en Europe centrale et dans l'Océan Atlantique, on trouve des valeurs du quotient égal à 1 tandis que sur le reste de la région étudiée, la variabilité du modèle est inférieure à la variabilité de NCEP. En été, pour le Nord et Nord-Est de l'Europe, la variabilité du modèle apparaît plus élevée que celle de NCEP. En Méditerranée, les deux ensembles de données présentent la même variabilité. Au contraire, durant l'automne, la variabilité du modèle est en Europe partout plus faible que celle de NCEP.

### 2.2 Les champs de 500hPa pour les types de circulation

La figure 2 montre les différences des géopotentials d'hiver entre les valeurs du modèle et celles de NCEP pour les types de circulation. D'après cette figure, on constate que la distribution géographique des différences pour l'ensemble des types de circulation est bien similaire à la distribution géographique des différences hivernales (Figure 2), excepté pour les types A1 et A2. Sur le champ de A1, les géopotentials du modèle apparaissent sous-estimés en Europe occidentale tandis que sur le champ de A2, des différences positives occupent le Sud – Ouest de l'Europe et négatives le Nord-Est du continent. Au printemps, les différences des valeurs des géopotentials sont en général négatives pour l'ensemble des types de circulation pour l'Europe et la Méditerranée excepté pour le type A5 où les valeurs des géopotentials du modèle sont plus élevées. En été, les valeurs des géopotentials pour l'ensemble des types de circulation sont sous-estimées sur la Méditerranée, et finalement pour l'automne, les champs des différences pour les types de circulation présentent un certain nombre de similitudes avec les champs moyens de la saison,

excepté pour les types A1 et Cnw où les différences sont positives en Europe du Nord et de l'Est (A1) et sur l'ensemble de l'Europe (Cnw).

Figure 2. Les champs des différences des valeurs saisonnières (HadAM3P-NCEP) pour 8 types de circulation d'hiver



Les composites présentant le quotient des écarts – types pour chaque type de circulation montrent que durant l'hiver, il y a beaucoup de similitudes entre les champs anticycloniques et les champs moyens de la même saison, pour la plus grande partie de l'Europe et de la Méditerranée, avec une exception sur le Nord-Est de celle-ci (A1, A2, A3, A5 et A6). Pour les types cycloniques, pour la plupart des régions étudiées, la variabilité du modèle apparaît plus faible que la variabilité de NCEP, excepté sur l'Italie et la Grèce où le quotient est égal à 1. Au printemps, les champs du quotient des différents types montrent de bon ajustement avec les champs moyens saisonniers. Dans certains cas, spécialement pour les types anticycloniques, la variabilité simulée est plus faible par rapport à la variabilité moyenne saisonnière. En été, les champs du quotient des types de circulation présentent beaucoup de similitudes avec le champ moyen saisonnier. Il y a un certain nombre d'exceptions comme par exemple pour les types A1, A2, C, Cs et Cnw où le quotient est inférieur à 1 au-dessus d'une grande partie de la Méditerranée et des Balkans. Finalement, durant l'automne, pour l'ensemble des types de circulation, la variabilité du modèle est beaucoup plus faible que la variabilité de NCEP au-dessus de l'Europe centrale, de l'Italie et de la Grèce. Dans certains cas ce quotient est égal à 0.5.

## Conclusion

Les différences les plus importantes entre les données moyennes simulées et les données moyennes observées au niveau de 500hPa apparaissent durant l'hiver où les valeurs des géopotentiels sont surestimées (différences positives) au-dessus d'une grande partie de l'Europe occidentale et centrale. D'autre part, durant la même saison, les différences sont positives sur la majeure partie de la Méditerranée, tandis que durant les autres saisons, elles sont négatives ou égales à zéro. Il est très difficile de faire une description complète concernant l'erreur saisonnière des données simulées par rapport aux données observées tant à l'échelle moyenne de la fenêtre utilisée qu'à l'échelle des types de circulation, bien que le signal des types de circulation soit différent durant l'hiver par rapport aux autres saisons. Un autre problème important présenté par les données simulées est la sous-estimation systématique de la variabilité des géopotentiels durant l'hiver, le printemps et l'automne. En été, au contraire, on observe une surestimation de cette variabilité au-dessus de l'Europe orientale.

En conclusion, les données des géopotentiels du modèle HadAM3P semblent être relativement bien reproduites durant toutes les saisons, bien que des erreurs systématiques apparaissent plus en hiver que durant les autres saisons.

**Remerciements:** Cette communication a été faite dans le cadre du projet PYTHAGORAS financé par le Ministère de l'Education Hellénique.

## Références Bibliographiques

KALNAY E, KANAMITSOU M, KISTLER R, COLLINS W, DEAVEN D, GANDIN L, IREBELL M, SAHA S, WHITE G, WOOLLEN J, ZHU Y, LEETMAA A, REYNOLDS R, CHELLIAH M, EBISUZAKI W, HUGGINS W, JANOWIAK J, MO KC, ROPELEWSKI C, WANG J, JENNE R, JOSEPH D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 437-471.

MAHERAS P, PATRIKAS I, KARACOSTAS TH, ANAGNOSTOPOULOU CH. 2000. Automatic classification of circulation types in Greece: Methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theoretical and Applied Climatology* 67: 205-223.

## **INFLUENCE DE L'OSCILLATION DE MADDEN-JULIAN SUR LA VARIABILITE INTRASAISSONNIERE DES PLUIES EN AFRIQUE DE L'EST (KENYA-TANZANIE)**

**B. POHL\* et P. CAMBERLIN**

*Centre de Recherches de Climatologie/Université de Bourgogne  
6 Boulevard Gabriel – F-21000 Dijon – FRANCE  
\* e-mail : benjamin.pohl@u-bourgogne.fr*

### **Résumé**

Les incidences de l'Oscillation de Madden-Julian, mode de variabilité atmosphérique intrasaisonnier dominant dans la bande tropicale, sur la répartition des pluies d'Afrique de l'Est durant le trimestre Mars-Avril-Mai, sont étudiées sur la période 1979-2002. L'analyse révèle une modulation significative des précipitations. Cependant, de fortes hétérogénéités existent du point de vue des pluies entre les hautes terres et la côte kenyane, couplées à des mécanismes pluviogènes de nature différente.

**Mots-clés** : oscillations de Madden-Julian, variabilité intrasaisonnaire des pluies, grande saison des pluies d'Afrique de l'Est

### **Abstract**

The incidence of the Madden-Julian Oscillation, dominant mode of atmospheric variability within the tropical belt, on the repartition of East African rainfall during the Long Rain season, are studied on the period 1979-2002. The analysis reveals that the rainfall is significantly modulated, but the region is not homogeneous spatially and the Highlands and the Kenyan coast are submitted to rain-causing mechanisms of different nature.

**Key-words**: Madden-Julian Oscillations, intraseasonal rainfall variability, East African Long Rains

### **Introduction**

L'activité intra-saisonnaire de la convection et des pluies dans la zone tropicale a révélé toute son importance ces dernières années, parce qu'elle est susceptible d'expliquer une part non négligeable de la variabilité interannuelle et qu'elle conditionne largement les potentialités agricoles dans les régions concernées.

Les Oscillations de Madden-Julian ("MJO") consistent en une migration vers l'est, le long du rail équatorial, de cellules de convection de large échelle observables sur les fuseaux indien et ouest Pacifique (Madden & Julian 1972, 1994). Une forte cohérence spatiale est ainsi observée dans le vent zonal de basse et de haute couche, dans la pression atmosphérique ainsi que dans les températures des masses d'air sur toute l'épaisseur de la troposphère. L'oscillation présente une quasi-périodicité variable, comprise entre 30 et 60 jours, soit aux pas de temps intrasaisonniers. Bien que découverte depuis plus de trois décennies, la MJO n'est apparue comme le mode de variabilité atmosphérique dominant dans la bande tropicale qu'assez récemment. Par ailleurs, les effets induits par le phénomène sur les précipitations continentales reste encore assez mal connus. Récemment toutefois, Matthews (2004) a montré une incidence de la MJO sur la mousson ouest-africaine.

Bien que riveraine de l'océan Indien, l'Afrique de l'Est n'a encore été l'objet d'aucune étude mettant en relation la répartition intrasaisonnaire de ses précipitations et la MJO; tel est l'objet du présent travail. Etant située de part et d'autre de l'équateur géographique, l'Afrique de l'Est équatoriale (AEE, Kenya et Tanzanie) connaît des régimes bimodaux avec deux saisons des pluies correspondant aux migrations saisonnières de la zone de convergence intertropicale. Les "Long Rains" s'étendent de mars à mai et sont responsables de la part la plus importante du cumul pluviométrique annuel. Les "Short Rains" d'octobre à décembre apportent en moyenne des quantités d'eau inférieures ; leur variabilité interannuelle est en revanche bien supérieure et obéit à des

mécanismes relativement bien connus (Beltrando & Cadet 1990). Parce que les travaux antérieurs ont peiné à mettre en évidence les mécanismes gouvernant la variabilité –intrasaisonnaire comme interannuelle- des “Long Rains”, c’est sur la première saison des pluies d’AEE que la présente étude va porter.

## 1. Données et méthodes

Les données décrivant la variabilité journalière des champs atmosphériques sont fournies par les réanalyses NCEP-NCAR DOE R-2 (Kanamitsu *et al.* 2002) disponibles sur la période 1979-aujourd’hui. Les champs utilisés (composantes horizontale et verticale du vent, hauteur géopotentielle) sont principalement de catégorie A, c’est-à-dire qu’ils sont sujets à des incertitudes relativement modérées (Kalnay *et al.* 1996).

Les indices utilisés pour extraire le signal intrasaisonnier de la MJO ont été calculés par analyse en composante principale (ACP) portant sur les anomalies désaisonnalisées et filtrées (20-75 jours) de potentiel de vitesse à 200 hPa. Cette variable, décrivant la divergence de large échelle en hautes couches, est en effet un très bon indicateur de l’activité MJO et de la phase de l’oscillation au cours de son cycle intrasaisonnier.

Les données de précipitations proviennent des relevés pluviométriques quotidiens de 27 stations

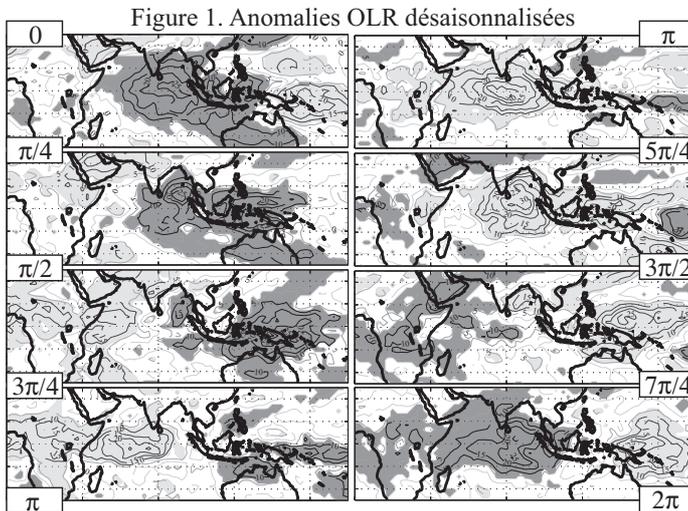


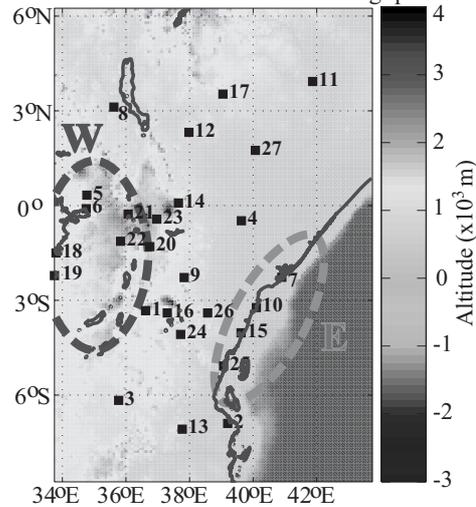
Figure 1. Anomalies OLR désaisonnalisées

2002.

## 2. Résultats principaux

Chaque cycle MJO est décrit selon sa phase, déterminée par la localisation des cellules de convection active dans la bande tropicale; une mesure d’angle, de 0 à  $2\pi$ , va permettre de la repérer. A titre d’exemple la figure 1 présente les anomalies d’OLR désaisonnalisées pour différentes phases du cycle, obtenues par analyse composite. Chaque carte (intervalle angulaire de  $\Delta\pi/4$ ) correspond approximativement à une durée de 6 jours, ce qui correspond à un cycle MJO de durée médiane de l’ordre de 48 jours. Les anomalies significatives (t-test, 95%) ont été grisées (foncé : anomalies positives, clair : négatives). La migration vers l’est des centres de convection, au pas de temps intrasaisonnier, est clairement observable aux latitudes équatoriales.

Figure 2. Afrique de l’Est : relief et localisation des stations météorologiques



météorologiques du Kenya et de Tanzanie ; elles ont été obtenues auprès des services météorologiques des pays concernés.

Les données d’OLR (Outgoing Longwave Radiation) de la NOAA mesurent le rayonnement infrarouge sortant au sommet de l’atmosphère. Dans la bande tropicale cette grandeur est un très bon estimateur de la convection atmosphérique profonde (Matthews 2000, Mutai & Ward 2000). Les données sont disponibles au pas de temps journalier après interpolation spatiale et temporelle ; elles ont été utilisées ici sur la période 1979-

Une seconde analyse composite, réalisée selon le même critère sur les phases du cycle intrasaisonnier, et portant sur chacune des 27 stations d'étude au Kenya et en Tanzanie, révèle une distribution des précipitations non homogène au cours du cycle. Les stations des plaines côtières d'AEE ("E", figure 2) et celles des Hautes terres ("W") connaissent un pic de pluies en opposition de phase (figure 3). Cependant, les deux régions présentent des anomalies significatives (t-test, 95%), révélant une influence des MJO sur la répartition intrasaisonnaire des pluies en AEE.

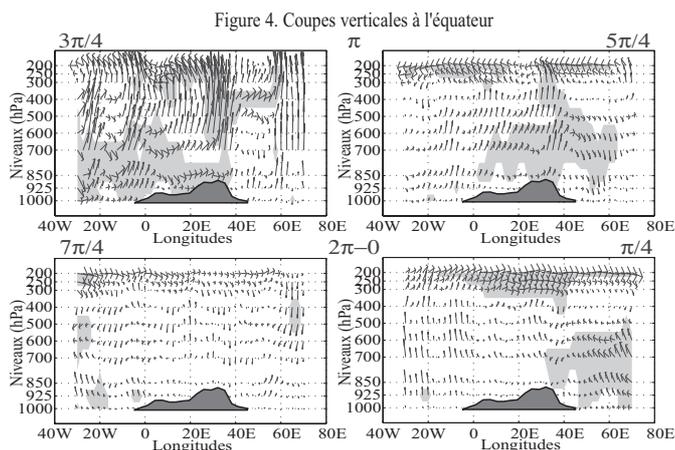
La figure 4 représente les coupes zonales (après retrait du cycle annuel) dans la circulation zonale et verticale à l'équateur durant les phases MJO pluvieuses en AEE :  $\pi$  pour les Hautes terres et  $2\pi-0$  pour la côte (cf. figure 3). Les anomalies significatives au test  $t^2$  de Hotelling ont été grisées ; les profils noirs représentent la topographie du continent africain telle qu'elle apparaît dans le modèle NCEP. Lors des phases pluvieuses sur les Hautes terres (coupes du haut), de fortes ascendances sont observées sur la quasi-totalité de l'épaisseur de la troposphère. Cet élément, conjugué aux anomalies négatives correspondantes dans l'OLR (fig. 1), permet de conclure à des pluies d'origine convective. La convection humide semble alimentée à la base par de l'humidité provenant du bassin du Congo via des anomalies zonales d'ouest : ce résultat est en accord avec Nakamura (1968) et contribue à fournir une explication aux vents d'ouest observés sur l'ouest des Hautes terres. Lors du pic pluviométrique sur la côte (coupes du bas), les anomalies dans la composante verticale du vent apparaissent beaucoup plus limitées ; par ailleurs des anomalies positives d'OLR, observables à cette phase du cycle (fig. 1), indiquent une absence de convection atmosphérique profonde. Des anomalies d'est en basses couches sur l'océan Indien ouest-équatorial permettent de conclure à une advection d'humidité sur l'AEE, à cette phase du cycle.

## Conclusions

Les oscillations de Madden-Julian ont une incidence significative sur la répartition intra-saisonnaire des précipitations en AEE. Les mécanismes par lesquels s'exerce cette influence sont néanmoins complexes, et font intervenir des processus pluviogènes de nature différente au cours du cycle intrasaisonnier. Par ailleurs, la région est-africaine présente des hétérogénéités spatiales marquées, les pluies survenant à des périodes bien différentes sur la côte et dans les Hautes terres.

Une quantification de cette incidence de l'oscillation intrasaisonnaire dans la variance totale des pluies, ainsi que la contribution de la MJO à la variabilité interannuelle des pluies de Mars à Mai, feront l'objet d'études ultérieures.

## Bibliographie



- BELTRANDO, G. & CADET, D. L., 1990, Interannual variability of the short rain season in east africa: relationships with general atmospheric circulation, *Veille Climatologique Satellitaire*, 33, 19-36
- KALNAY, E., and CO-AUTHORS, 1996, The NCEP-NCAR 40 year reanalyses project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471
- KANAMITSU, M., EBISUZAKI, W., WOOLLEN, J., YANG, S.-K., HNILO, J. J., FIORINO, M. & POTTER, G. L., 2002, NCEP-DOE AMIP II reanalysis (R-2), *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1631-1643
- MADDEN, R. A. & JULIAN, P. R., 1972, Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 29, 1109-1123, 1994, Observations of the 40-50 day tropical oscillation - A review, *Monthly Weather Review*, 122, 814-837
- MATTHEWS, A. J., 2000, Propagating mechanisms for the Madden-Julian oscillation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126, 2637-2652, 2004, Intraseasonal variability over tropical Africa during northern summer, *Journal of Climate*, 17, 2427-2440
- MUTAI, C. C. & Ward, M. N., 2000, East African rainfall and the tropical circulation/convection on intraseasonal to interannual timescales, *Journal of Climate*, 13, 3915-3939
- NAKAMURA, K., 1968, Equatorial westerlies over East Africa and their climatological significance, *Geographical Reports, Tokyo Metropolitan University*, 3, 43-61

## IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT SPATIO-TEMPOREL DE LA PERSISTANCE DES CHAMPS DE PRECIPITATIONS OBSERVÉS PAR RADAR.

N. LEHTIHET<sup>1</sup>, F. YUCEF ETTOUNI<sup>1</sup>, A. ADANE<sup>1</sup>, H. SAUVAGEOT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Faculté d'Electronique et d'Informatique,  
Département Télécommunications, Laboratoire Traitement d'Images et Rayonnement, BP N° 32 El Alia, Bab  
Ezzouar, Alger, Algérie. Tél/ Fax: +213 21 24 71 87  
e-mail : [lehtihet.nouria@caramail.com](mailto:lehtihet.nouria@caramail.com) , youcefettoumi@yahoo.fr

<sup>2</sup> Université Paul Sabatier Toulouse, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique, Centre de Recherches  
Atmosphériques, 8, route de Lannemezan, 65300 Campistrous, France.

### Résumé

La thématique de ce présent travail est, en fait, la poursuite des études précédentes qui portaient sur la modélisation des échos de pluie occupant les images enregistrées par le radar de bordeaux. Ainsi, le dépouillement de ces images radar nous a permis d'observer le mouvement des échos de pluie au cours de l'année 1996, dans le cas général et de détecter la présence des cellules d'orages dans la journée du 21 juin, en particulier. Ce phénomène a permis de mener une analyse spatio-temporelle, basée sur les modèles AR et les chaînes de Markov. De tels processus, appliqués sur un ensemble de variables délimité par l'aire <R>, choisie dans une cellule orageuse, ont montré l'invariabilité spatiale que ce soit, du processus AR du premier ordre ou de la chaîne de Markov d'ordre un à deux états.

**Mots-clés :** radar ; précipitation ; AR ; Chaînes de Markov ; spatio-temporel.

### Abstract

The set of themes of this present work is, in fact, the continuation of the preceding studies which related to the modelling of the echoes of rain occupying the images recorded by the radar of Bordeaux. Thus, the examination of these images radar enabled us to observe the movement of the echoes of rain during the year 1996, in the general case and to detect the presence of the cells of storms in the day of June 21, in particular. This phenomenon has permit to make a space-time analysis, based on the models AR and the chains of Markov. Such processes, applied to a whole of variables delimited by the surface <R>, chosen in a stormy cell, have shown the space invariability that it is, of the first order AR process or the chain of Markov of order one with two states.

**Key-words:** radar; precipitation; AR; Chains of Markov; space-time.

### Introduction

Les analyses statistiques à base des modèles autorégressifs, ont été appliquées sur les chroniques de pluie, collectées par le radar de Bordeaux au cours de l'année 1996 (Lehtihet, 2003). Ainsi, le modèle en chaînes de Markov du premier ordre à deux états (Youcef et al., 2003) a fait ressortir le caractère de persistance des pluies.

De surcroît, le processus AR caractérisé par une variabilité temporelle, reflétant l'évolution du climat océanique dans la région bordelaise, a aussi permis de vérifier ce caractère persistant d'une part et d'autre part, d'améliorer les performances de la modélisation en terme de précision.

Par ailleurs, ce type de climat océanique alimentant un orage qui, vu l'emplacement du radar de bordeaux, a été aisément observé dans les images radar relatives à la journée du 21 juin, par la taille et l'intensité d'échos de pluie (Ginestet, 1989) et, auxquels sont associées des cellules d'averses. En effet, ces données ont occasionné une étude spatio-temporelle, appliquée sur une aire <R> extraite de la zone orageuse.

Ce travail est, en fait, un approfondissement de la connaissance du comportement des champs de pluie. Il s'agit donc de faire ressortir au mieux leurs caractéristiques spatio-temporelles en employant les approches stochastiques discrète et continue.

1. Données utilisées

Les variables étudiées représentent les pixels contenus dans une aire <R> et les observations sont les mesures de réflectivités, pour chaque pixel, chronologiquement toutes les 5 minutes. L'aire a été choisie de façon à avoir plus de séries chronologiques (variables) ayant autant d'observations de réflectivités différentes de zéro. A cet effet, la taille de la fenêtre est limitée à 40x40 km<sup>2</sup> et le nombre d'observations vaut 69. Dans la figure 1, nous repérons à droite la 144<sup>ème</sup> image enregistrée le 21/06/1996 par le radar de Bordeaux pour laquelle on a choisi l'emplacement de l'aire <R> considérée comme une première observation. Quant à la dernière observation considérée, est relative à la 213<sup>ème</sup> image qui est illustrée par l'image de gauche dans cette figure.

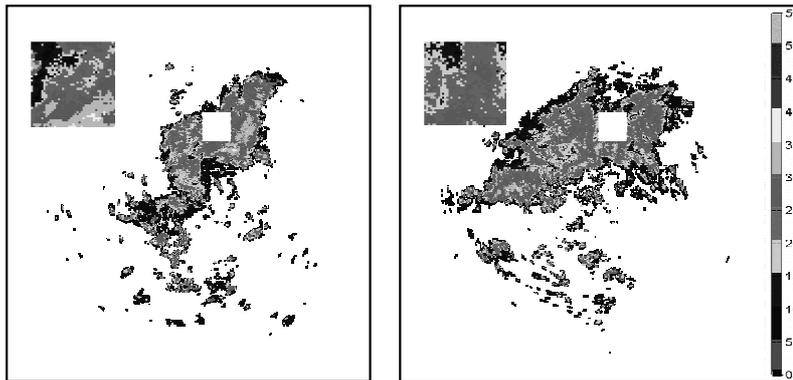


Fig. 1. Images enregistrées le 21/06/1996, à 12H00 (l'image de droite) et à 17H45 (l'image de gauche), par le radar de Bordeaux

2. Modèle autoregressif AR

Dans cette section, nous essayons de trouver un modèle autorégressif AR d'ordre p adéquat pouvant décrire un pixel donné dans une cellule orageuse. Pour ce faire, nous utilisons les 1600 séries temporelles représentant les différents pixels contenus dans l'aire <R> (voir Fig.1) et dont chacune est formée de 69 observations. Nous exploitons également le programme élaboré précédemment (Lehtihet et al., 2003), pour générer le modèle AR(p) et modéliser toutes ses séries. D'après l'évolution des coefficients d'autocorrélation  $r_k$  (FAC) et d'autocorrélation partielle  $\phi_k$  (FACP), nous identifions le modèle AR(1) pour représenter la 63<sup>ème</sup> série par exemple (voir Fig. 2).

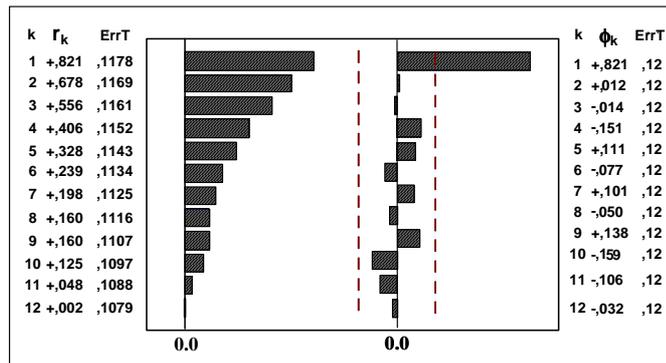


Fig. 2. Valeurs des coefficients d'autocorrélation  $r_k$  et d'autocorrélation partielle ( $\phi_k$ )

Le paramètre ( $\alpha_1$ ) a été obtenu avec une erreur d'estimation de 0,02 et vaut 0,99. Les résultats de ce type de modélisation satisfont au test de Student et au test de Box-Ljung du point de vue des hypothèses et de l'adéquation (voir Tableau 1).

| Type série          | modèle       | $v = n-1$ | $t_{\text{calculé}}$ | $t_{v; 0,05}$ | $v^* = K-p$ | $Q_K$ | $\chi^2_{v^*; 0,05}$ |
|---------------------|--------------|-----------|----------------------|---------------|-------------|-------|----------------------|
| Série <sub>63</sub> | ARIMA(1,0,0) | 68        | 8,92                 | 2,00          | 11          | 8,64  | 19,7                 |

Tableau 1. Résultats des tests de significativité et d'adéquation pour le modèle AR(1)

Pour généraliser, le modèle AR a été appliqué sur l'ensemble des pixels formant l'aire <R> dont le paramètre  $\alpha_1$ , caractérisant les différents modèles identifiés, varie entre 0,98 et 0,99 et l'erreur-type associée est de 0,02. Ainsi, le modèle général pouvant décrire les fluctuations de réflectivités d'un pixel, contenu dans une zone orageuse, est défini par le paramètre d'ordre un qui vaut 0,98, en valeur moyenne et une erreur-type de 0,02.

### 3. Modélisation en chaîne de Markov

Dans cette approche, nous réduisons l'aire <R> à 30×30 km<sup>2</sup> afin de pouvoir effectuer un découpage en 100 mailles différentes dont la taille de chacune est de 3×3 pixels.

Ici, nous allons exposer les résultats obtenus par l'application du processus de Markov d'ordre un à deux états sur la première maille, par exemple, et les autres résultats seront seulement discutés.

| Pixel | $P_{00}$ | $P_{11}$ | $C_1$ | Entropie % |
|-------|----------|----------|-------|------------|
| 1     | 0,91     | 0,92     | 0,82  | 99,9       |
| 2     | 0,90     | 0,92     | 0,82  | 98,8       |
| 3     | 0,89     | 0,90     | 0,79  | 98,2       |
| 4     | 0,90     | 0,92     | 0,82  | 99,3       |
| 5     | 0,89     | 0,93     | 0,82  | 97,4       |
| 6     | 0,94     | 0,94     | 0,88  | 99,9       |
| 7     | 0,86     | 0,90     | 0,76  | 98,2       |
| 8     | 0,86     | 0,90     | 0,76  | 98,2       |
| 9     | 0,93     | 0,95     | 0,88  | 97,4       |

Tableau 2. Résultats de la modélisation de Markov d'ordre un à deux états

Le tableau 2 donne les résultats obtenus avec ce type de modélisation et qui a été évalué par le test de validation (Maafi et al., 1987), basé sur la comparaison entre les probabilités à priori  $P_1$  déduites directement des données et celles déterminées par le modèle Markovien  $P(\Phi_1)$  (voir Fig.3).

D'après ce tableau, les observations sont fortement corrélées avec un coefficient de corrélation du premier ordre qui vaut 0,82 en valeur moyenne. Aussi, l'entropie moyenne apportée par cette modélisation est de l'ordre de 98,6 %. Les valeurs des probabilités de transitions  $P_{11}$  et  $P_{00}$  sont quasiment constantes et se superposent autour de 0,90 qui est la composante continue.

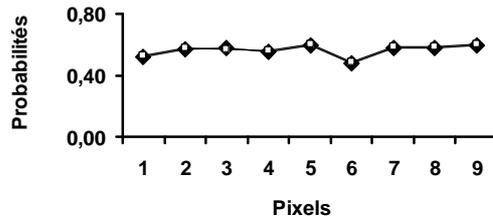


Fig. 3. Variation des probabilités à priori  $P_j(\square)$  et à long terme  $P(\Phi_j)$  ( $\blacklozenge$ )

Comme pour la première maille, le modèle de Markov d'ordre un à deux états a été appliqué sur les autres mailles de l'aire  $\langle R \rangle$  réduite. Dans l'ensemble, les résultats trouvés ont montré la fiabilité de ce modèle pour décrire une zone orageuse.

### Conclusion

Le phénomène orageux qui s'est produit le 21 juin de l'année 1996, à Bordeaux nous a été bénéfique pour analyser le comportement spatio-temporel de la persistance des champs de précipitation observés par le radar. Ce caractère persistant a été identifié par l'invariabilité spatiale des modèles autorégressifs, tels que AR(1) et les chaîne de Markov d'ordre un à deux état qui décrivent au mieux les échos de pluie.

### Références

- GINESTET, P., 1989 ; Traitement des images radar et prévisions des intensités pluvieuses, TFE Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble.
- LEHTIHET N., YUCEF ETTOUMI F., ADANE A., SAUVAGEOT H., 2003 ; Etude du caractère stochastique des précipitations à partir des données radar météorologique, Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Vol.15, p 393-401, 2003.
- LEHTIHET N., 2003 ; Modélisation des échos radar par des processus autorégressifs, Thèse de Magister, USTHB, Algérie.
- MAAFI A., ADANE A. et OUABDESSELAM A., 1987 ; Ajustement des données d'insolation d'Alger par un modèle Markovien du premier ordre. Revue Phys. Appl. 22 , 425-430.
- YUCEF ETTOUMI F., LEHTIHET N., ADANE A., SAUVAGEOT H., 2003 ; Apport de la radarmétéorologie dans l'évaluation des ressources hydriques, congrès international, Hydrotop 2003, Marseille 22-24 Octobre 2003, 7<sup>e</sup> éd., p 187- 190.

# LE CLIMAT EN ITALIE - L'ÉLABORATION ET LA RESTITUTION D'INDICATEURS AU TRAVERS DU SYSTÈME INFORMATISÉ SCIA

F. DESIATO, F. LENA

*Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici  
Via Vitaliano Brancati 48 - 00144 Roma*

## Résumé

On fait la description du système informatisé SCIA, réalisé pour le recueil, l'élaboration et la représentation des indicateurs du climat italien, et on présente les valeurs normales des températures et des précipitations sur la période 1961-1990 et les séries d'anomalies moyennes de température.

**Mots-clés:** données climatiques italiens, valeurs normales, anomalies

## Abstract

The computerised system SCIA, which has been realised for the collection, elaboration and representation of climatic indicators over Italy, is described; climate normals of temperature and precipitations over the period 1961-1990, and annual series of mean temperature anomalies, are presented.

**Key-words:** Italian climatic data, climate normals, anomalies

## Introduction

La disponibilité des données climatiques est indispensable pour comprendre, évaluer et contrôler les très importants problèmes de l'environnement, tels les variations climatiques, la désertification, la pollution atmosphérique et le dérangement hydrogéologique.

En Italie il y a beaucoup d'institutions et plusieurs réseaux d'observation météorologique, et on a senti l'exigence d'une harmonisation et standardisation des méthodes d'élaboration des indicateurs utiles à la représentation du climat et de son évolution.

### 1. Le système informatisé SCIA

Pour répondre à cette nécessité, l'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT) a réalisé, en collaboration avec l'Ufficio Generale per la Meteorologia dell'Aeronautica Militare (UGM), l'Ufficio centrale di Ecologia Agraria (UCEA) et l'Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente de la région Emilia Romagna (ARPA), un système national pour le recueil, l'élaboration et la diffusion des données climatologiques d'intérêt pour l'environnement (SCIA).

Le but du système est de mettre à la disposition de toutes les institutions de recherche scientifique et du public, des indicateurs climatologiques calculés sur les séries temporelles des variables mesurées dans les principaux réseaux météorologiques qu'on a sur le territoire national, et d'ajouter périodiquement les informations selon un procédé standardisé.

Les indicateurs calculés au travers de SCIA sont contrôlés avec des méthodes homogènes et concordés avec les fournisseurs des données. Grâce à ce système on peut faire l'intégration des indicateurs obtenus de sources diverses.

Les principales variables météorologiques qui sont considérées sont : température, température potentielle, température équivalente potentielle, précipitations, humidité relative, vent, bilan hydrique, indicateurs bio climatologiques, ensoleillement, évapotranspiration, brouillard et visibilité, couverture nuageuse, pression atmosphérique, radiation globale.

Pour chaque variable on calcule par périodes de dix jours, un mois et une année, l'ensemble des indicateurs qui représentent synthétiquement les distributions statistiques.

Jusqu'à ce jour, on a élaboré et encodés en base de données les indicateurs calculés sur les séries historiques des observations météorologiques de l'UGM, de l'UCEA et de l'ARPA, et sur les

données pluviométriques des réseaux qui étaient gérés par le Service Hydrographique National (SIMN) (tableau 1), et on a commencé en routine les mises à jour. Récemment, l'APAT a entrepris des actions pour l'extension du système SCIA à d'autres sources de données, et spécialement les autres agences régionales de protection de l'environnement qui comprennent des services météorologiques régionaux.

Les informations et les produits de SCIA sont accessibles par le web à l'adresse [www.sinanet.apat.it/scia](http://www.sinanet.apat.it/scia). Lors de la consultation du système on peut obtenir les informations sur les réseaux et les stations d'observation des variables climatiques, sur les valeurs des indicateurs statistiques d'une période choisie, sur les valeurs normales d'une période climatologique et sur les anomalies d'une période en fonction des valeurs normales. En particulier, on a déterminé plusieurs valeurs normales sur la période de 1961-1990, qui est recommandée par l'Organisation Météorologique Mondiale comme une période climatologique de référence.

Les indicateurs sont représentés sous forme de tables de valeurs, de diagrammes qui montrent les variations temporelles et de cartes qui montrent la distribution spatiale des variables climatiques.

## 2. Exemples d'élaborations climatologiques

La figure 1 montre la distribution de la précipitation maximale journalière au cours de la période 1961-1990. Les valeurs de près de 3000 stations sont interpolées sur un réseau géographique quadrillé par une méthode de *krigeage*. Les valeurs maximales réelles sont supérieures à celles indiquées sur l'échelle des couleurs située à droite de la carte, à cause de l'interpolation. La localisation des valeurs maximales (dans le golfe de Gênes, la Val d'Ossola dans la région du Piémont, la région du Frioul au nord-est de l'Italie, et le versant ionique de la région de la Calabre) est intéressante aussi pour la prévision des inondations qui intéresse la protection civile.

Les anomalies de la température moyenne de 50 stations de l'UGM ont été calculées de 1961 à 2004, et la figure 2 montre la série des anomalies moyennes de toutes les stations. A partir de ce type d'élaboration, on peut estimer une augmentation moyenne de presque 1°C au cours des 20 dernières années.

Tableau 1

| Réseau               | total | en fonction | Période     |
|----------------------|-------|-------------|-------------|
| SIM-Météo            | 22    | (18)        | 1980 – 2004 |
| SIM-Agrométéo        | 27    | (25)        | 1994 - 2004 |
| UCEA-Agrométéo       | 36    | (33)        | 1991 – 2003 |
| UCEA-Observatoires   | 98    | (17)        | 1862 - 2003 |
| UCEA-St. historiques | 100   | (28)        | 1865 - 2003 |
| UGM                  | 129   | (82)        | 1951 – 2004 |
| Pluviometrie ex-SIMN | 4000  |             | 1950 - 1990 |

Fig.1 – Distribution des valeurs des précipitations journalières maximales en Italie.

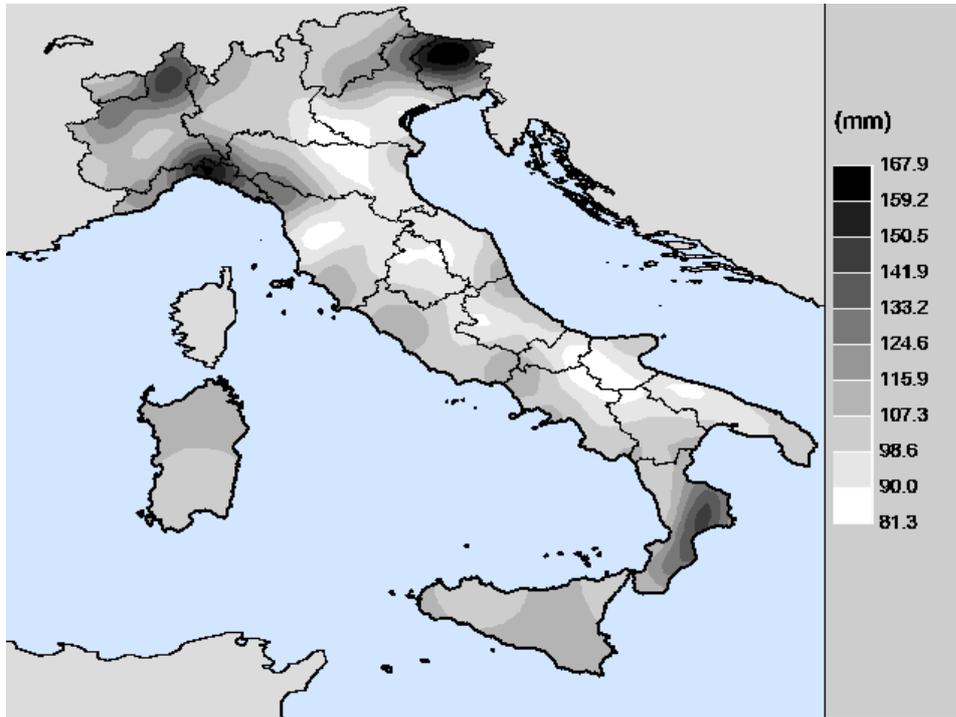
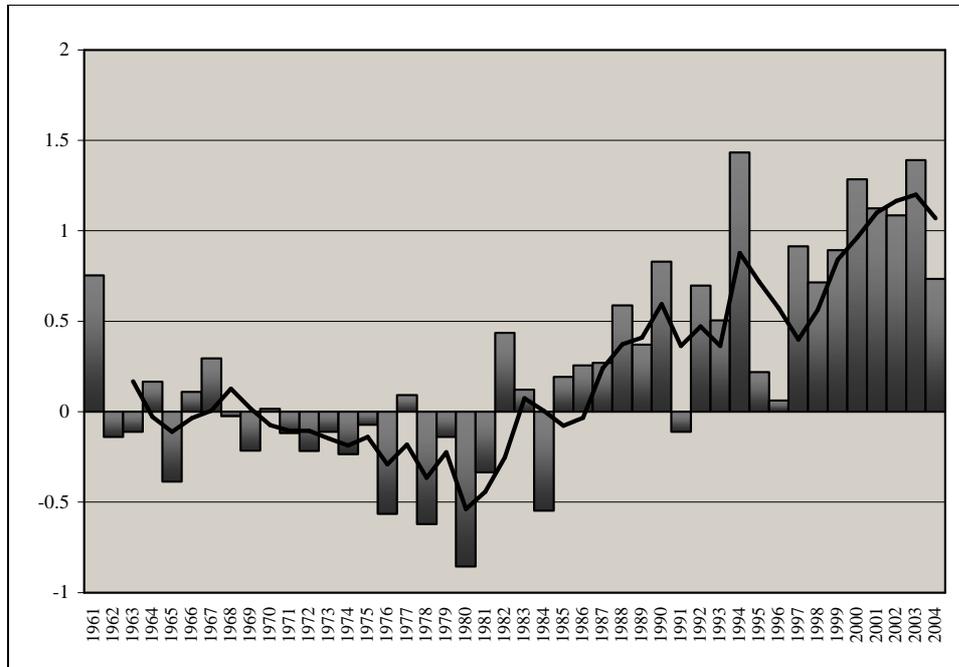


Fig. 2 - Anomalie moyenne de la température moyenne de 1961 au 2004. ( calculées sur 49 stations italiennes)





## LES ÉTUDES DU RYTHME CLIMATIQUE DU BRÉSIL AU COURS DE LA PÉRIODE 1971-2000.

J. A. ZAVATTINI

*UNESP - IGCE - Departamento de Geografia*

*Rua 10 n° 2527 - Santana - Cx. Postal 178*

*13500-230 - Rio Claro - SP - Brésil*

[zavattini@claretianas.com.br](mailto:zavattini@claretianas.com.br); [zavattini@rc.unesp.br](mailto:zavattini@rc.unesp.br)

### Résumé

Le principal objectif de cet article est de montrer l'étendue temporelle et spatiale des études du rythme du climat au Brésil à partir de l'ouvrage "Estudos do clima no Brasil" (Zavattini, 2004), qui analyse les travaux de maîtrise et les thèses de doctorat produits dans deux des plus importantes universités brésiliennes (USP et UNESP) entre 1971 et 2000.

**Mots-clés:** Brésil – climat – temps – space – rythme climatique.

### Abstract

*The climate's studies in Brazil during 1971-2000.*

This article's aim is to show the chronological and spatial reach of the Brazilian climatic rhythm's studies based in the book "Estudos do clima no Brasil" (Zavattini, 2004), which analyses the doctor and master's thesis developed in two of the most important universities of Brazil (USP and UNESP) during 1971-2000.

**Key-words:** Brazil – climate – time – space - climatic rhythm.

### Introduction.

La base de l'«Escola Brasileira de Climatologia Geográfica» est le paradigme de l'analyse rythmique (Monteiro, 1971). Cependant, l'emploi du rythme climatique, concept fondamental qui soutient le paradigme et qui remonte à la France des années cinquante et au Brésil des années soixante, est encore timide. Son usage correct exige des fondements de météorologie synoptique et l'accès aux données de circulation atmosphérique. Visualiser les enchaînements atmosphériques dépend de la façon dont les réponses locales (variations quotidienne et horaire des éléments du climat), les cartes du temps (pression au niveau de la mer et en altitude) et les images météorologiques sont interprétées. Conjuguer cette gamme d'informations et entrevoir le rythme de succession des types de temps – la dynamique atmosphérique – est une action éminemment géographique; cependant, les données utilisées sont en prédominance météorologiques et, sans cette structure, il est pratiquement impossible d'effectuer l'analyse rythmique en climatologie.

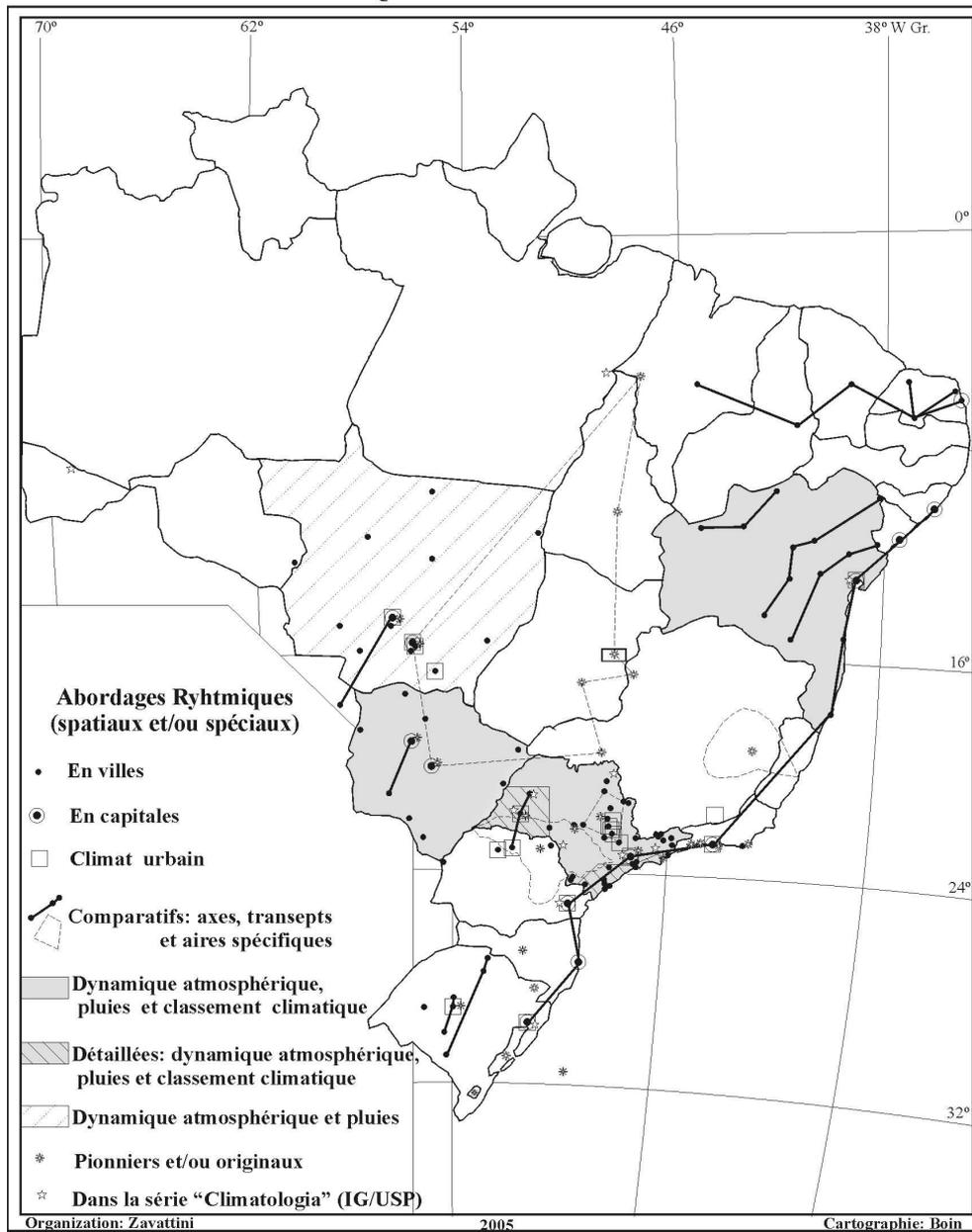
### **1. Les études du climat au Brésil: six décennies d'analyses rythmiques.**

Le livre "Estudos do clima no Brasil" (Zavattini, 2004) réunit et évalue cent huit thèses de doctorat et travaux de maîtrise en climatologie, produits dans les universités USP et UNESP entre 1971 et 2000. De cet ensemble d'oeuvres, soixante-trois ont utilisé le concept de rythme climatique, et c'est de ces oeuvres-là que sont extraites les informations sur l'adoption du paradigme de l'analyse rythmique (où?, quand?, comment? et pourquoi?). Sur la base de ces informations, un inventaire des séries temporelles de 1941 à 2000 a été réalisé, couvrant des points du Brésil, à partir duquel plusieurs tableaux chronologiques ont été construits, qui ne sont pas présentés ici à cause de la consision obligatoire du texte, et un cartogramme qui est présenté ici. Ainsi, à partir des données collectées dans soixante-trois ouvrages, les périodes ont été définies et les endroits délimités, pour lesquels l'analyse rythmique a été appliquée de façon continue (mois et année) ou épisodique (quelques jours ou peu de semaines). Pour ce qui concerne les quarante-cinq autres ouvrages, non repris dans l'inventaire parce qu'ils ont eu recours à la climatologie traditionnelle par l'étude des normales du climat plutôt que par son rythme, ceux-ci ont été abandonnés; ce qui a évité de changer l'objectif du livre cité et a maintenu son domaine d'étude focalisé sur l'usage du paradigme de l'analyse rythmique. Toutefois, pour qu'on ne reste pas attaché seulement à l'inventaire réalisé et en ayant l'intention de construire un panorama plus étendu des études du rythme climatique au Brésil, le cartogramme cité reflète aussi certains ouvrages fondamentaux (Monteiro, 1969; 1973) de la "Climatologia Geográfica Brasileira", ainsi que la série complète de "Climatologia", de l' "Instituto de Geografia" de l' "Universidade de São Paulo" (IG/USP), aujourd'hui épuisé.

### **2. L'étendue temporelle et spatiale des études du rythme du climat au Brésil.**

Les décennies de 40 et 50 ont été peu étudiées du point de vue rythmique. Quant à la décennie de 60, on remarque une légère augmentation de l'usage du paradigme. En ce qui concerne les études sur la décennie de 70, elles se sont révélées les plus éclectiques de toutes, tout autant pour la variété d'années choisies que pour la quantité de localités concernées, ou pour la diversité d'analyses utilisées. L'année la plus importante a été celle de 1973, étudiée de façon continue au Nord, Sud-Est et Sud du pays. Les études sur la décennie de 80 ont présenté une prédilection spéciale par les années 1983/84/85, étant l'année de 1985 la plus abordée. Dans la décennie de 90, les études de caractère continu annuel disparaissent pratiquement, et les analyses épisodiques appliquées au climat urbain de villes moyennes et de capitales prolifèrent. Le bilan de la période 1941/2000 permet d'affirmer qu'une vision d'ensemble fiable n'a pas encore été atteinte, parce que les périodes étudiées jusqu'à présent ne s'enchaînent pas dans l'espace, en laissant plusieurs parties du Brésil à découvert du paradigme. Peut-être les années 1972/73 ou les années 1983/84/85 pouvaient fonctionner comme les périodes qui se sont le plus approchées de cette vision ample et, en même temps, synthétique, car elles ont été les années le plus étudiées dans les différentes parties du territoire national. Ou, peut-être, il est possible de supposer que les années 1983/84/85 suffisent déjà et fonctionnent comme période dans laquelle le rythme du climat au Brésil a été capté. Après tout, 1983 a été une année assez pluvieuse dans la grande partie du pays, car il y a eu la manifestation de l' "El Niño", tandis que 1985 a été une année de grande sécheresse. En 1984, puisque les pluies n'ont pas été ni excessives, ni absentes, le rythme climatique au Brésil a été du type habituel. En ce qui concerne les années 1983 et 1985, leur rythme climatique a certainement été exceptionnel. Il reste à définir où de telles caractéristiques du rythme climatique se sont manifestées, c'est à dire, délimiter les aires à travers des affinités rythmiques régionales et sous-régionales, ce qui exigera du temps, de la prudence et de nombreuses réflexions. L'analyse du cartogramme présenté ci après permet de constater immédiatement que l'état de São Paulo se trouve très bien étudié par le paradigme, ainsi que la côte brésilienne. Trois états ont des classements climatiques fondés sur le paradigme de l'analyse rythmique:

### LES ÉTUDES RYTHMIQUES DU CLIMAT AU BRÉSIL - 1941-2000



Bahia, Mato Grosso do Sul et São Paulo. Le dernier compte déjà sur des détails rythmiques du classement climatique qui, particulièrement, examinent de bonnes parties de son territoire. On remarque aussi, dans différents endroits du pays, que les études réalisées sur base de comparaisons rythmiques (axes, transepts, aires-test etc.) sont innombrables, ainsi que celles concernant le rythme du climat urbain, celles-ci étant plus concentrées dans les régions Sud-Est et Sud. Les analyses rythmiques de la série "Climatologia" (IG/USP) ne se sont pas limitées uniquement à l'étude de l'espace de l'état de São Paulo, car elles ont, de façon épisodique, concerné les terres du Nord et du Nord-Est du pays. En outre, beaucoup d'autres zones du territoire ont pu compter sur des applications pionnières et/ou originales du paradigme, bien que, jadis, l'état de São Paulo ait été le préféré. Cependant, des énormes vides rythmiques sont constatés dans notre pays. Du Sud au Nord, il y a encore beaucoup d'études à réaliser. La région amazonique est celle qui a le moins d'études fondées sur le paradigme de l'analyse rythmique. Le peu qui existe est, proprement, de caractère épisodique et ponctuel. En contrepartie, la région qui a le plus de prestige pour le paradigme est la région Sud-Est, en particulier l'état de São Paulo. Il s'agit, en outre, d'une zone très intéressante du point de vue géographique, car c'est là qu'on a le contact tropique/extra-tropique, dans un battement cadencé du rythme climatique, tantôt plus au nord, tantôt plus au sud du Tropique de Capricorne.

### **Conclusion.**

Depuis l'année 1967, le professeur Carlos Augusto, à la fin de sa thèse de doctorat (Monteiro, 1969) envisageait l'avenir des études du rythme du climat et affirmait que, le Brésil étant le pays intertropical le plus vaste du monde, il devrait offrir à la géographie universelle son apport dans ce domaine. Aujourd'hui, après toutes ces années, on peut affirmer que le maître, bien qu'il ne devant rien, a payé la dette, en offrant des normes de travail en climatologie qui peuvent certainement être appliquées au-delà du tropique. Envisager si les disciples du maître ont eu un solde positif, c'est un autre débat. Le livre "Estudos do clima no Brasil" (Zavattini, 2004), évalue l'usage du paradigme signale, après évaluation, par soixante-trois ouvrages climatologiques. Mais, en montrant l'étendue temporelle et spatiale du paradigme, il révèle un cadre que laisse à désirer, car seulement quelques périodes et zones ont été amplement étudiées au Brésil. Bref, il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine.

### **Bibliographie.**

MONTEIRO, C. A. F., 1969. A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil), Teses e Monografias 1, USP/IG, São Paulo, SP.

MONTEIRO, C. A. F., 1971. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho, Climatologia 1, USP/IG, São Paulo, SP.

MONTEIRO, C. A. F., 1973. A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo – estudo geográfico sob forma de atlas, USP/IG, São Paulo, SP.

ZAVATTINI, J. A., 2004. Estudos do clima no Brasil, Alínea Editora, Campinas, SP.

## RELATIONS ENTRE LES QUANTITÉS JOURNALIÈRES DES PRÉCIPITATIONS ET LES TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE AU CENTRE DE LA ROUMANIE

I. H. HOLOBĂCA A. E. CROITORU

*Université Babeş-Bolyai, Faculté de Géographie  
5-7, rue Clinicilor, 3400 Cluj-Napoca, Roumanie  
holobaca@geografie.ubbcluj.ro, croitoru@geografie.ubbcluj.ro*

### Résumé

Nous présentons une classification objective des types de circulation atmosphérique pour la Roumanie, ayant à la base un schéma de classification qui a comme point de départ le calcul des indices journaliers du champ de pression. Pour chaque type sont analysées les caractéristiques synoptiques et la fréquence pour les dix types de circulation atmosphérique et les quantités journalières de précipitations associées. L'analyse montre que les *types secs* (A, S, SE, SW) ont une fréquence élevée et une contribution réduite dans la formation des précipitations atmosphériques durant l'année et que les *types humides* (C, N, NE, NV) ont une grande contribution dans la formation des précipitations.

**Mots-clés:** classification objective, types secs, types humides, Roumanie

### Abstract:

An objective classification scheme of the atmospheric circulation affecting Romania, between 1968 and 1998, is presented, where daily circulation is characterized through the use of set of indices associated with the direction and vorticity of the geostrophic flow. The synoptic characteristics and the frequency of ten basic circulation weather types are discussed, as well as the amount of precipitation associated with each type. It is shown that the *dry types* (A, S, SE, SW), although being the most frequent classes, gives a rather small contribution to the precipitation amount and the *wet types* (C, N, NE, NV) have a very important contribution to the annual precipitation amount.

**Keywords:** objective classification, dry types, wet types, Romania

### Introduction

L'objectif de cette étude est la présentation d'une classification objective des types de circulation atmosphérique et les relations avec les quantités journalières des précipitations pour la Roumanie. Le schéma de classification a comme point de départ le calcul des indices journaliers du champ de pression. Par analyse statistique on a identifié les classes qui jouent un rôle prépondérant dans l'apparition des périodes déficitaires et excédentaires du point de vue pluviométrique.

Un avantage considérable est l'analyse convenable à l'aide de l'ordinateur d'un grand volume de données nécessaires à une telle étude. Les désavantages de la classification automatique consiste soit dans l'obtention d'un grand nombre de classes, soit dans l'apparition des situations qui ne puissent pas être classifiées.

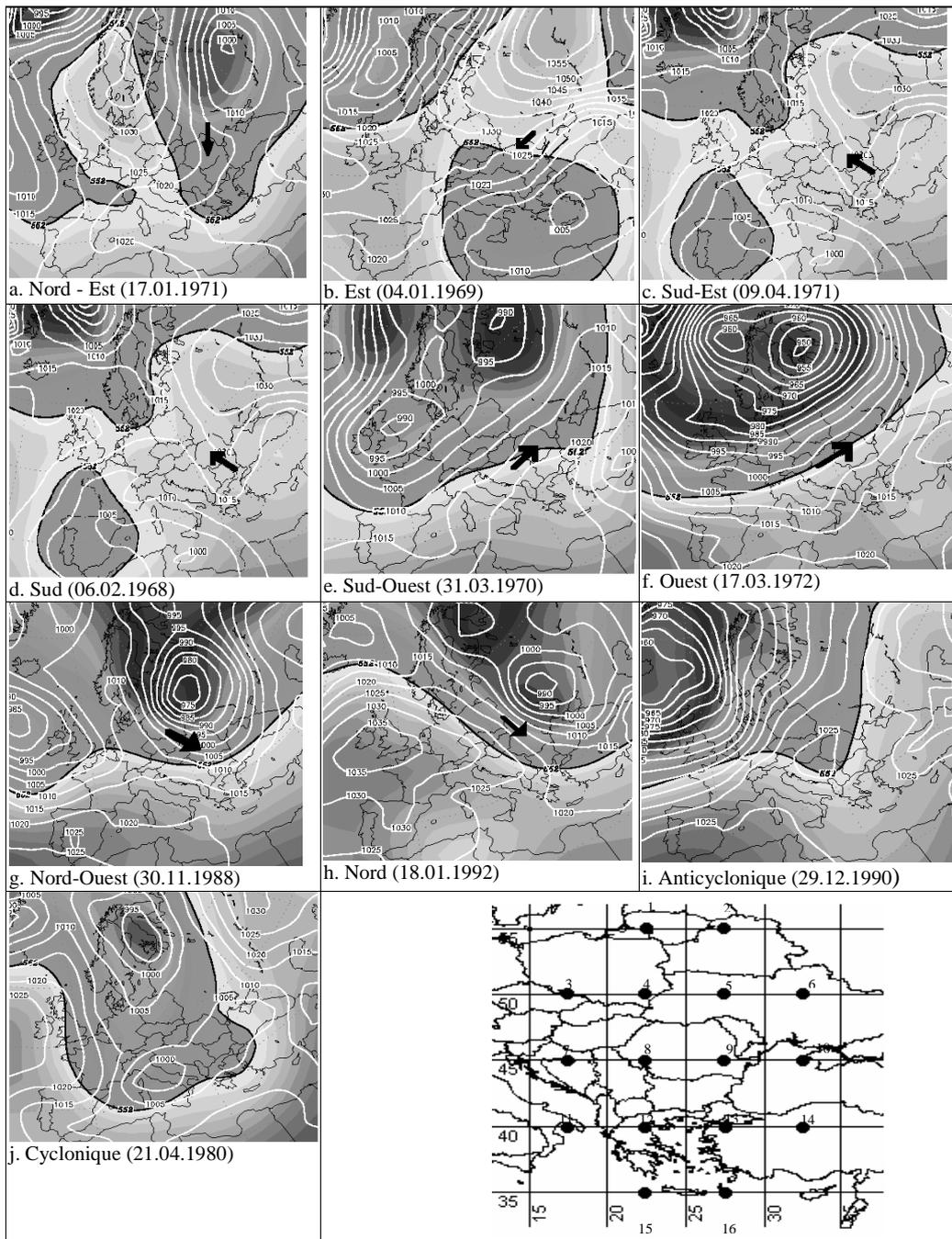


Figure 1. Les configurations bariques de base et la grille utilisée pour calculer les indices de direction et de vorticité du courant géostrophique

## 1. Méthodologie

La classification automatique des types journaliers de circulation atmosphérique a été réalisée en utilisant la méthode décrite par Jenkinson et Collinson (1974) et développée par Jones et ses collaborateurs (1993). Elle a été appliquée avec succès par Trigo et DaCamara (2000) pour l'analyse du régime des précipitations au Portugal.

Les auteurs ont utilisé une série d'indices de la direction et de la vorticité du courant géostrophique. Les indices sont: flux en direction sud (SF), flux en direction ouest (WF), flux total (F), vorticité sud (ZF), vorticité ouest (ZW) et vorticité totale (Z). On a fait le calcul de ces indices au Département de Météorologie et Climatologie, Université Aristote, Thessaloniki, en utilisant les valeurs de pression atmosphérique au niveau de la surface terrestre (SLP) obtenues en 16 points de grille (p1 – p16), (fig. 1).

Les critères de la discrimination des différents types de circulation atmosphérique ont été les suivants:

La direction du flux géostrophique est calculée à l'aide de la relation:  $Tg^{-1}(WF/SF)$ . Si l'indice WF est positif on ajoute  $180^\circ$ . On a utilisé une rose des vents en 8 directions, chaque direction ayant un secteur de  $45^\circ$ .

Si  $|Z| < F$ , le flux géostrophique ne présente une vorticité (il est droit), dans ce cas le type de circulation est donné de la direction du flux (8 types de circulation qui correspondent à la direction de la rose des vents).

Si le flux géostrophique présente une vorticité élevée,  $|Z| > 2F$ , le type de circulation est cyclonique si  $Z > 0$ , ou anticyclonique si  $Z < 0$ .

Si  $F < |Z| < 2F$ , le type de circulation est mixte et il est caractérisé aussi par la direction que par la forme de circulation. Ainsi ont-ils résulté 16 types de circulation mixte.

En utilisant cette méthode on obtient 26 types de circulation: 8 types directionnels, 1 anticyclonique, 1 cyclonique et 16 types de circulation mixte. On n'a pas créé une classe distincte pour les situations qui n'ont pas pu être classifiées, celles-ci ont été disséminées également parmi les autres classes.

Pour faciliter le traitement statistique des données obtenues, les 26 types de circulation ont été regroupés en 10 types de base (fig. 1). Les types de circulation mixtes ont été inclus dans les types correspondants directionnels et cycloniques ou anticycloniques (par ex., pour le type ANE, la moitié des cas ont été inclus dans le type A et la moitié dans le type NE).

## 2. Résultats

Les analyses ont été faites pour l'intervalle 1.01.1961 - 31.12.1997, en utilisant des données de 12 stations météorologiques du centre de la Roumanie. Nous avons calculé la quantité moyenne journalière des précipitations, le taux de précipitations du total des quantités annuelles de précipitations et la quantité moyenne journalière des précipitations des jours avec des précipitations pour chaque type de circulation.

La comparaison des données synoptiques avec celles des précipitations a mis en évidence le fait qu'un nombre relativement réduit de classes ont une contribution importante pour la création des précipitations atmosphériques. On peut dissocier les classes *humides*, qui ont une valeur des précipitations quotidiennes supérieure à 2mm/ jour (C,N,NE,NV), *sèches*, qui ont une valeur des précipitations inférieure à 1mm/ jour (A,S,SE,SV) et *intermédiaires* qui ont la valeur des précipitation entre 1 et 2mm/jour (E et V). Par conséquent la plus grande importance dans la formation des précipitations atmosphériques durant l'année détient le type nordique (N), ayant des valeurs au-dessus de 20 % , mais pouvant dépasser, dans certains cas, 24% du total des quantités annuelles de précipitations, surtout dans la moitié du sud de l'aréal analysé. Celui-ci est suivi, avec des taux presque égaux par les types cycloniques (C) et celui du nord-est (NE). Les plus petits taux

caractérisent les types de circulation du secteur méridional (sud, sud-est, sud-ouest), avec seulement 4-5% des quantités annuelles de précipitations.

Les valeurs des quantités moyennes journalières des précipitations des jours avec des précipitations calculées pour chaque type de circulation montrent que pour le type dominant (N) celles-ci varient entre 4.2 mm/jour et 7.2mm/jour, tandis que pour les types avec la valeur la plus petite (A et S), la quantité de précipitations se réduit presque à moitié ( 2.0 - 3.5mm/jour).

### Conclusions

La classification automatique est objective et permet l'analyse rapide d'une grande quantité de données. On peut remarquer le rôle de la circulation anticyclonique (A) dans l'apparition des périodes déficitaires du point de vue pluviométrique et des types *humides* où on remarque le rôle du type nordique de circulation (N) dans la formation des précipitations dans le territoire analysé. Ce type de classification offre des perspectives intéressantes pour l'étude des relations entre les situations synoptiques et le régime des précipitations atmosphériques ou d'autres éléments climatiques qui pourraient se rendre utiles dans l'élaboration des prognoses.

### Bibliographie

- JENKINSON A.F., Collinson F.P., 1977, *An initial climatology of gales over the North sea*. Synoptic Climatology Branch Memorandum, 62, Meteorological Office, London
- JONES P.D., HULME M., BRIFFA K.R., 1993, A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme, *International Journal of Climatology*, 13, p. 655 – 663.
- KUTIEL H., MAHERAS P., GUIKA S., 1996, Circulation and extreme rainfall conditions in the Eastern Mediterranean during the last century, *International Journal of Climatology*, 16, p. 79-92.
- TRIGO M.R., DACAMARA C.C., 2000, Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal, *International Journal of Climatology*, 20, p. 1559 – 1581

## ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES PLUIES INTENSES SUR DES PETITS BASSINS VERSANTS TOSCANS

P. POINSOTTE, L. NICCOLI, C. VITI

*Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Gabba 22, 56100 PISA*

*E-mail : [p.poinsotte@virgilio.it](mailto:p.poinsotte@virgilio.it)*

### Résumé

L'influence de la distribution temporelle des précipitations dans la formation des crues des petits bassins versants est bien connue. L'analyse de l'intensité de la pluie ponctuelle a fait l'objet de nombreux travaux de modélisation (les pluies de projet), mais il n'existe par contre aucun modèle fiable pour distribuer spatialement un hyétogramme synthétique. Or l'utilisation d'un réseau dense de pluviographes montre que la répartition spatiale des précipitations est d'autant plus hétérogène que le pas de temps considéré est court. Un des moyens de tenir compte de cette hétérogénéité spatiale est d'utiliser un coefficient d'abattement permettant l'estimation d'une intensité moyenne sur une surface, autrement dit une lame d'eau moyenne. Les formules actuellement disponibles dans la littérature scientifique, appliquées à de petits bassins versants, donnent des coefficients d'abattement de la pluie proches de l'unité ; elles présupposent par conséquent une distribution spatiale quasi uniforme de la pluie. Aujourd'hui, la région Toscane dispose d'un réseau de pluviomètres suffisamment dense pour étudier les pluies intenses à temps de retour très élevés et les mesures in situ contredisent les modèles précédemment cités et montrent de très fortes atténuations spatiales de la pluie sur des superficies très restreintes.

**Mots-clés :** Coefficients d'abattement, modèle distribué, pluie intense, lame d'eau moyenne, bassin versant, Toscane.

**Abstract** – The influence of temporal distribution of rainfall in the generation of flood in small watersheds is a well known argument. The study of punctual rainfall intensity is largely investigated (design storm) but there is no reliable model to spatially distribute a design hyetograph. The use of a very dense network demonstrates that rainfall spatial distribution is as much heterogeneous as the time is short. The best way to take into consideration the spatial heterogeneity is the use of an Areal Reduction Factor allowing to estimate an area average intensity. Nowadays, scientific literature gives Areal Reduction Factors close to unity for small watersheds. Today, Tuscany region has a fitted network to study heavy rainfall with high return periods. In situ measures refute quoted models and they reveal very strong spatial rain reduction on very limited areas.

**Keywords:** Areal Reduction Factor, distribute model, heavy rainfall, average precipitation, watershed, Tuscany.

### Introduction

Dans la pratique le dimensionnement des ouvrages hydrauliques repose sur le calcul de débits de pointe ou d'hydrogrammes de crue caractérisés par des temps de retour prédéterminés. Cette procédure s'appuie sur l'utilisation de modèles de transformation pluie/débit nécessitant la détermination d'une pluie de projet, c'est-à-dire un hyétogramme synthétique défini par :

- Un temps de retour ( $Tr$ ) ;
- Une durée ( $t$ ) ;
- Une hauteur de pluie ( $h$ ) ;
- Une distribution temporelle de la pluie ;
- Une distribution spatiale de la pluie.

Dans la pratique, le temps de retour de la pluie de projet coïncide avec celui du débit servant de base au dimensionnement de l'ouvrage. En ce qui concerne la durée, on adopte une valeur critique, dépendant des caractéristiques intrinsèques du bassin versant, généralement égale au temps de concentration des eaux du bassin. La hauteur de la pluie est quant à elle déterminée sur la base des courbes intensité-durée-fréquence représentant la relation  $h = h(t, Tr)$  à laquelle est associé un modèle de distribution spatiale de la pluie choisi, en général, parmi ceux disponibles dans la littérature, (Keifer et Chu, 1957), (Huff, 1967), (N.E.R.C., 1975), (Pilgrim et Cordery, 1975), (Yen et Chow, 1980), (Arnell, 1982).

La procédure décrite ci-dessus est basée sur l'élaboration de pluies ponctuelles, si bien que le modèle obtenu est valable uniquement pour la station pluviométrique choisie. Dans la pratique il faudrait disposer d'un modèle qui, partant des pluies ponctuelles, permette d'inférer un nombre suffisant de hyétogrammes afin d'obtenir une description fiable de la distribution spatiale et temporelle de la pluie.

Actuellement, la disponibilité de mesures à échelle suffisamment fine pour consentir l'élaboration de modèle stochastique de génération de la pluie est encore limitée. C'est pour cette raison que l'on a encore largement recours aux modèles de transformation pluie/débit de type concentré (Lumped) qui demandent seulement la connaissance des volumes tombés sur le bassin versant au cours d'une période déterminée (hauteur de la lame d'eau moyenne). Cette méthode permet la construction d'un hyétogramme moyen dont la hauteur est le résultat de la multiplication de la pluie ponctuelle par un coefficient d'abattement permettant de corrélérer la valeur de la lame d'eau moyenne à celle de la pluie ponctuelle en fonction de la durée et de l'emprise de l'averse.

La littérature scientifique internationale présente de nombreuses variantes du coefficient d'abattement (U.S.W.B., 1960), (N.E.R.C., 1975), (D.E.W.C., 1981), (Desbordes et al, 1984) mais leur application est difficilement exportable car très dépendante du contexte géographique local. En Italie, les études sur l'évaluation des coefficients d'abattement sont peu nombreuses, surannées et concernent des plaines aux caractéristiques pluviométriques assez uniformes (Massari, 1910), (Columbo, 1960). Récemment Milano (Milano et al., 2001) ont proposé des expressions relatives à des bassins versants italiens d'étendue supérieure à 1000 km<sup>2</sup> et des pluies de durée de 1h à 48h. Le cas des petits bassins versants et des pluies de brèves durées demeure peu étudié du fait du manque de mesures à résolution fine. Cependant, en Italie, au cours des dix dernières années, le processus d'amélioration du réseau de stations pluviométriques, en terme d'extension et d'informatisation, a permis de disposer de données à haute résolution temporelle en format numérique (de l'ordre de quelques minutes) pour de nombreuses stations. Ces données ont permis la reconstitution détaillée, en terme de résolution spatiale et temporelle, d'événements pluviométriques très intenses dans le nord-ouest de la Toscane caractérisée par une très forte pluviométrie annuelle. Ces études ont montré l'existence d'une corrélation entre le coefficient d'abattement, la durée de la pluie et l'emprise de l'averse qui, dans les événements étudiés, se différencient nettement de ceux disponibles dans la littérature.

## 1. Les aspects pluviométriques des événements considérés

Les événements pluviométriques étudiés sont les suivants :

- L'événement du 19 juin 1996 sur le bassin versant du fleuve Versilia (96 Km<sup>2</sup>) caractérisé par de très fortes pluies, (477 mm/24h) à l'épicentre de l'orage, dont le temps de retour dépasse 100 ans dans plusieurs stations
- L'événement du 23 septembre 2003 sur le bassin du Carrione (47 Km<sup>2</sup>) au cours duquel la pluie ponctuelle a atteint des valeurs très élevées avec des temps de retour supérieurs à 100 ans. La durée de l'événement a été estimée à 3 heures.

La disposition d'un réseau de monitoring dense de stations pluviométriques sur les bassins étudiés a permis une reconstitution détaillée de ces événements. En effet, les télé-pluviomètres ont enregistré, dans l'ensemble des stations, des données de pluie ponctuelle avec une agrégation temporelle de seulement quelques minutes. Notre analyse a considéré 10 stations pour le bassin du Versilia, 9 pour le bassin du Carrione ; ces stations étant toutes dotées de pluviomètres automatiques, les données ont été obtenues sous forme numérique avec une très haute résolution temporelle (5 – 15 min.). Une représentation cartographique des données, de type GRID, a permis de reconstruire l'évolution spatiale et temporelle des pluies. Les valeurs de la pluie relative à chaque cellule ont été obtenues grâce à une analyse de type géostatistique par l'intermédiaire de la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting). De plus, pour chaque pas de temps (15 min., 30 min., 1h, 2h et 3h) nous avons localisé l'épicentre de l'événement ainsi que la hauteur de pluie mesurée (dans le même temps) aux autres pluviomètres répartis dans le bassin étudié. Cette étude a

consenti une représentation de l'évolution spatiale des épïcêtres pluvieux et le calcul de la lame d'eau moyenne relative à des superficies croissantes, de 0 km<sup>2</sup> à la superficie totale du bassin versant. La valeur du coefficient d'abattement est représentée, pour chaque durée et superficie, par le rapport entre la valeur de la lame d'eau moyenne et la valeur maximale de la pluie ponctuelle. Grâce à cette méthode la variabilité du coefficient d'abattement a pu être analysée en fonction de la superficie et de la durée.

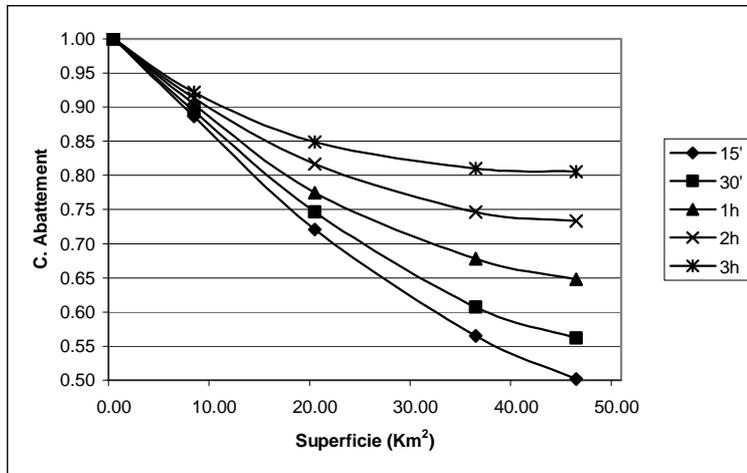


Figure 1 : Coefficients d'abattement du bassin du Carrione

La figure 1 représente, à titre d'exemple, l'évolution du coefficient d'abattement pour le bassin du Carrione en fonction du pas de temps et de la superficie considérés. L'analyse du graphique montre une atténuation très marquée de l'intensité de la pluie à partir de l'épïcêtre, surtout pour les faibles pas de temps. En effet, la lame d'eau moyenne sur la totalité du bassin versant représente 81% de la valeur maximale de la pluie ponctuelle de durée 3h, et seulement 50% pour une durée de 15 minutes.

### Bibliographie

- ARNELL V., 1982, *Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe System*. Dept. of Hydr., Chalmers Univ. of Tecnology, Report series a:8.
- COLUMBO A., 1960, *La fognatura di Milano*, "Quaderni della citta' di Milano.
- DESBORDES M., RAOUS P., TREVISIOL Y., 1984, *L'abattement spatial*. Ministère de l'Intérieur, Paris.
- DEWC (Department of Environment Water Council), 1981, *The Wallingford Procedure*, vol. 1, Londres.
- HUFF F.A., 1967, *Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms*. Water Resources Research, vol. 3, n° 4, pp 1007-1019.
- KEYFER C.J., CHU H.H., 1957, *Synthetic Storm Pattern for Drainage Design*. " J.of Hydr. Div" ASC, vol. 83, n° HY4, paper 1332.
- MASSARI U., 1910, *Sulla determinazione delle massime piogge attribuibili ad una data zona*, "Atti del Collegio degli Ingegneri ed Architetti di Milano", n° 13, Milano.

MILANO V., PAGLIARA S., E. DI CARLO, A. MORELLI, 2001, *La spazializzazione delle piogge sui bacini dell' Arno e del Serchio e sul territorio Italiano*. ETS, Pisa.

NERC (National Environment Research Council), 1975, *Flood Studies Report*, Londres.

PILGRIM D.H., CORDERY I., 1975, *Rainfall Temporal Patterns for Design Floods*. "J.of Hydr. Div" ASCE, vol. 101, n° HY1, pp. 81-95.

USWB (United States Weather Bureau), 1960, *Generalized Estimates of Probable Maximum Precipitation West of the 105<sup>th</sup> Meridian*, Technical Paper n° 38, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., U.S.

YEN B.C., CHOW V.T., 1979, *Design Hyetographs for Small Drainage Structures*. " J.of Hydr. Div" ASCE, vol. 106, n° HY8, pp 1055 -1076.

## PLUVIOMÉTRIE DU HOGGAR

MATARI<sup>(1)</sup>, L. ZEUDMI-SAHRAOUI<sup>(2)</sup>

(1) Institut de Formation et de Recherches Hydrométéorologiques, Hai Es Seddekia  
BP. 7019 Oran – Algérie. [matari\\_a@yahoo.fr](mailto:matari_a@yahoo.fr)

(2) Office National de la Météorologie, BP. 31 Tamanrasset – Algérie. [zsltam@yahoo.fr](mailto:zsltam@yahoo.fr)

### Résumé :

En plein Sahara, le Hoggar s'impose par son relief qui culmine à 3000 m. C'est une région favorisée par les pluies qui activent la vie végétale et animale. Les pluies peuvent être très intenses et occasionner des dégâts matériels et même des pertes en vie humaines. Cette étude présente l'analyse détaillée de la pluviométrie sur le Hoggar en considérant les séries observées les plus longues et le maximum de stations de mesures, elle permet de tirer des conclusions sur la relation pluviométrie – altitude.

### Introduction

Le principal accident de relief au Sahara est le massif de l'Ahaggar (Hoggar), hérissé d'une succession de hauts plateaux désertiques et de sommets volcaniques impressionnants comme le mont de Tahat qui culmine à 3003 m. Le Hoggar domine la région la plus aride de tout le Sahara.

Les hivers sont très rigoureux, l'amplitude thermique est considérable. Le climat est de type continental désertique. En hiver, nous observons une prédominance des flux de Nord Ouest capables d'apporter des pluies atlantiques ou méditerranéennes. Le Hoggar est une région relativement favorisée par les pluies orageuses de la saison d'été. Durant cette saison, le paysage du Hoggar se transforme complètement, une végétation plus ou moins abondante contrastant avec l'environnement désertique. L'eau coule un peu partout -parfois avec une rare violence- et donne naissance à des points d'eau qui favorisent la vie animale. La diversité de la flore laisse prévoir une grande variété dans la faune.

### 1. Données

Les données pluviométriques proviennent de l' Office National de la Météorologie. Elles sont mensuelles et annuelles sur un ensemble de stations couvrant le Hoggar. Les stations automatiques ont été installées depuis juin 1992 pour la surveillance acridienne. Leur nombre est de 14, la période d'observations couvre les années de 1992 à 2004. Pour étudier l'évolution pluviométrique dans le temps, nous avons traité les longues séries de données de la station du plateau de l' Assekrem (2710m) de 1955 à 2004 et celles de Tamanrasset (1377m) de 1930 à 2004. Des diagrammes d'enregistrements pluviographiques de quelques situations exceptionnelles ont également été analysés sur l'Assekrem et Tamanrasset. Les observations de la station auxiliaire de l'Assekrem ont été assurées par les pères blancs depuis son ouverture jusqu'en 1997, date à laquelle la station est devenue professionnelle et intégrée dans le réseau de la veille de l'atmosphère globale.

Les données mensuelles des stations automatiques comprennent un certain nombre de lacunes. Lorsque leur nombre est assez faible, ces données manquantes ont été remplacées par la moyenne du mois considéré si non la station n'a pas été prise en considération. Comblé ces lacunes par des méthodes statistiques, régression simple ou multiple par exemple, nous semble inadéquat vu la taille restreinte des fichiers et le caractère orageux de la pluviométrie de la région. Une critique visuelle des fichiers de ces stations automatiques a fait apparaître également un certain nombre d'anomalies.

L'étude de l'homogénéité a été établie uniquement sur la station de l'Assekrem. La méthode du double cumul a été appliquée en prenant comme station de référence Tamanrasset. Cette méthode montre qu'elle est très influencée par les années exceptionnelles pour lesquelles la différence entre les deux stations est très importante même si la distance entre les deux stations n'excède pas 50 km. En 1966, il a plu une vingtaine de mm à Tamanrasset et 10 fois plus à l'Assekrem. La faible corrélation (0.2) montre que le double cumul donne une mauvaise appréciation de l'étude de l'homogénéité. A partir des documents archivés, nous constatons que les observations ont été faites avec une certaine rigueur et nous pouvons alors considérer que les données pluviométriques de la station de l'Assekrem sont homogènes.

## 2. Evolution saisonnière des totaux et du nombre de jours de pluie

Il s'agit d'une analyse sur les moyennes et les médianes. Les histogrammes fréquentiels des totaux mensuels sont fortement dissymétriques, la médiane est plus faible que la moyenne pour la majorité des mois. Elle est plus proche du mode, donc plus représentative du paramètre de tendance centrale. La figure 1 donne l'évolution de la moyenne pour les deux stations ; elle est semblable à celle de la médiane. Nous remarquons un accroissement très net des précipitations à partir du mois d'avril, les mois les plus pluvieux étant août et septembre. Toutefois, le mois de juillet présente la particularité d'avoir une pluviométrie plus faible par rapport aux mois qui l'encadrent. L'évolution saisonnière du nombre de jours d'orage montre également ce comportement. Le coefficient de variation qui décrit mieux la variabilité relative est plus faible pour la saison d'été.

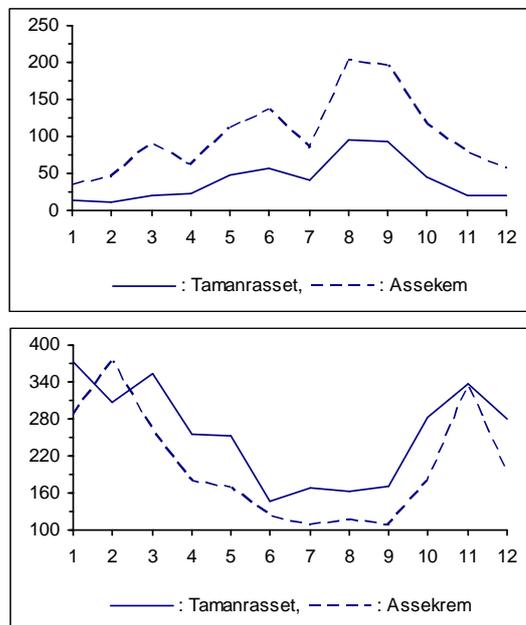


Figure 1 : Evolution des totaux de pluie en l/10mm Figure 2 : Evolution du coefficient de variation en %

Un total pluviométrique à l'échelle du mois a des répercussions différentes sur l'hydrologie et l'agriculture selon qu'il est recueilli sur un ou plusieurs jours. La notion du nombre de jours de pluie est importante. Si pour la météorologie, on définit un jour de pluie lorsque la quantité relevée est supérieure ou égale à 0.1 mm, ce seuil peut varier selon les différentes applications. Les figures 3 et 4 donnent l'évolution saisonnière pour seuils : 0.1, 5 et 10mm. Nous remarquons que cette évolution est assez semblable aux totaux mensuels et nous constatons également la particularité du mois de juillet. L'influence des masses d'air en provenance de la mer est maximale en juin et septembre. Un minimum de précipitation se présente au mois de juillet.

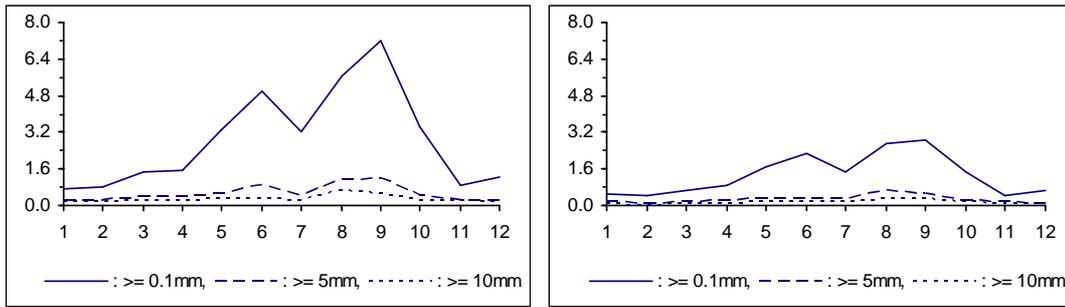


Figure 3 : Nombres de jours de pluie à l'Assekrem Figure 4 : Nombre de jours de pluie à Tamanrasset

Les rapports entre la moyenne des totaux mensuels et le nombre de jours de pluie moyen sont nettement plus élevés entre novembre et février. Durant cette période, les précipitations dues à des perturbations provenant du nord sont rares mais présentent de fortes intensités. Les précipitations peuvent être très violentes sur le Hoggar, comme en novembre 1993 où nous avons enregistré sur deux jours successifs 48mm et 80mm à l'Assekrem.

### 3. Evolution annuelle des totaux et du nombre de jours de pluie :

L'évolution du total annuel pour nos deux stations (figure 5) sur la période de mesure montre la grande variabilité interannuelle des totaux. Il n'apparaît aucune organisation au sein des séries. En général, il pleut plus à l'Assekrem.

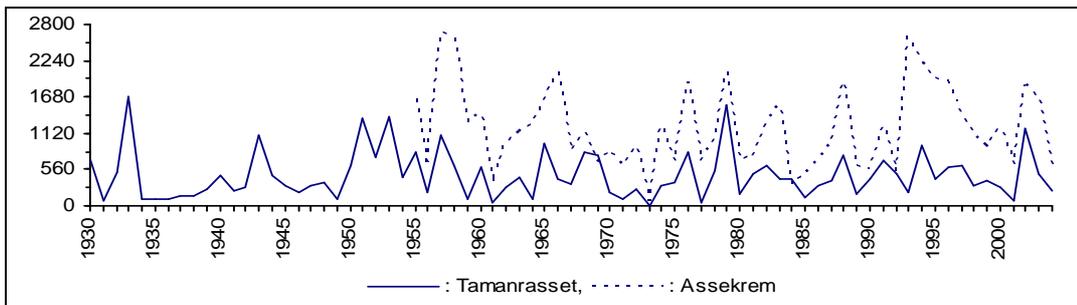


Figure 5 : Evolution interannuelle des totaux de pluie

Le tableau suivant donne les caractéristiques statistiques des totaux annuels. Par l'effet de l'altitude principalement, il pleut 2.5 fois plus à l'Assekrem. Le coefficient de variation est moins élevé pour la station la plus arrosée mais il est le double de celui des stations du nord. L'écart entre l'année la plus pluvieuse et l'année la plus sèche est supérieur à 250mm à l'Assekrem. 25% des totaux pluviométriques annuels sont supérieurs à ceux de Oran, situés sur la côte .

|                                  | Assekrem       | Tamanrasset      |
|----------------------------------|----------------|------------------|
| Moyenne en mm                    | 120.7          | 47.3             |
| Coefficient de variation en %    | 52.6           | 77.5             |
| Médiane en 1/10mm                | 111.9          | 39.6             |
| Premier quartile : $Q_1$ en mm   | 69.2           | 21.0             |
| Troisième quartile : $Q_3$ en mm | 165.2          | 62.4             |
| Année la plus sèche              | 1973 ( 7.6mm)  | 1973 ( 0.9mm )   |
| Année la plus pluvieuse          | 1957 (267.8mm) | 1933 ( 169.3mm ) |

Le total annuel du nombre de jours de pluie varie entre 2 et 30 j à Tamanrasset et entre 8 et 60 j à la station la plus élevée ; la moyenne est respectivement 16 et 34 j. Par suite de l'effet de l'altitude, le nombre de jours de pluie augmente entre 1 à 2 j tous les 100 m.

#### 4. Relation altitude-pluviométrie :

La relation est établie sur 11 stations automatiques dont les altitudes varient entre 807 m et 1800 m ainsi que Tamanrasset (1377 m) et l'Assekrem (2710 m). La période étudiée concerne les années 1993 à 2004. La figure 6 montre l'accroissement de la pluviométrie avec l'altitude. Le manque de stations particulièrement entre 1800 m et 2710 m d'altitude ne permet pas de voir si le gradient reste constant avec l'altitude. Dubief, grâce aux mesures faites pendant une année à partir d'un réseau de pluviomètres totalisateurs, a montré que ce gradient diminue avec l'altitude. Nous atteignons l'optimum pluviométrique vers 2700 m. D'une façon générale, nous remarquons également que ce gradient est plus élevé pour une période humide.

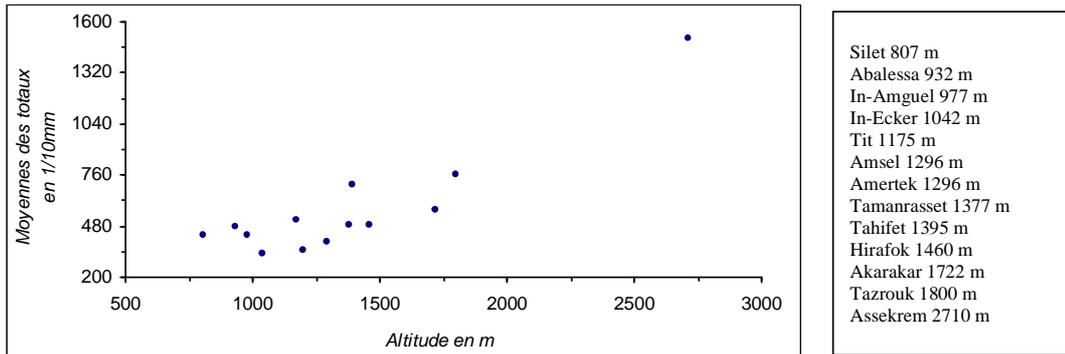


Figure 6 : Relation altitude-pluviométrie

#### Conclusion

Le facteur relief procure au Hoggar des particularités climatiques pluviométriques. Si au Sahara, la pluviométrie dépasse rarement 10 mm/an, dans les altitudes élevées comme à l'Assekrem, nous recueillons en moyenne 120 mm/an et certaines années une quantité supérieure à 250 mm. Les intensités peuvent être exceptionnelles et peuvent même dépasser celles de certaines stations du nord. Nous avons observé 80 mm en une journée en novembre 1993 et mars 2005. Les mois les plus pluvieux sont juin, septembre et août. La relation altitude-pluviométrie établie sur 13 stations du Hoggar montre l'augmentation de la pluviométrie avec un gradient moyen de 6 mm / 100 m. Le nombre de jours de pluie présente également la même évolution saisonnière. En moyenne à l'Assekrem, il est le double de celui de Tamanrasset.

#### Bibliographie

- DEMANGEOT J., 1972 : *Les milieux naturels désertiques*. Editions SEDES.
- DUBIEF J., 1963 : *Le climat du Sahara*. Tome 2. IMPG Algérie.
- LABORDE J.-P., 1995 : *Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord*. Public. AIC, 8, pages 37-46
- MEDDI M. et MEDDI H., 2003 : Pluviométrie moyenne annuelle : choix de la période de référence dans le nord de l'Algérie. Public. AIC, 15, pages 269-275
- PEGUY CH. P., 1970 : *Précis de climatologie*. Editions MASSON.
- SELTZER P., 1946 : *Le climat de l'Algérie*. IMPG Algérie, 219 pages
- THIRRIOT C. et MATARI A., 1989 : *Peut-on parler de sécheresse au Sahara ?* La houille blanche, numéro spécial, sécheresse, pages 599-605

## MISE EN EVIDENCE DU POIDS DES « MOIS HUMIDES » DANS LA PEJORATION PLUVIOMETRIQUE DU BASSIN DE LA SOTA (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

C. HOUNDENOU<sup>1et 2</sup>, E. W. VISSIN<sup>1et 2</sup> et J. PERARD<sup>2</sup>

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en eau et de la Dynamique des Ecosystèmes. Université d'Abomey-Calavi. 03- BP. 1122. Jéricho, Cotonou-03, Bénin.*

*Emel : [constant500yahoo.fr](mailto:constant500yahoo.fr) [exlaure@yahoo.fr](mailto:exlaure@yahoo.fr)*

*(2) Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, 6, boulevard Gabriel, 21 000 Dijon. Emel : [perardj@u-bourgogne.fr](mailto:perardj@u-bourgogne.fr)*

### Résumé

L'analyse des séries pluviométriques révèle une diminution brutale des quantités d'eau précipitée au cours de la décennie 70. La baisse pluviométrique concerne surtout les hauteurs mensuelles des mois de juin, juillet, août et septembre. Par ailleurs, le déficit pluviométrique entre les périodes 1955-1972 et 1973-1995 des mois humides sont déterminants dans le déficit annuel observé. Ce déficit varie entre 13 et 25%. Le poids pluviométrique de ces quatre mois est important dans les totaux annuels.

**Mots clefs** : bassin, Sota précipitations, déficit, poids pluviométrique.

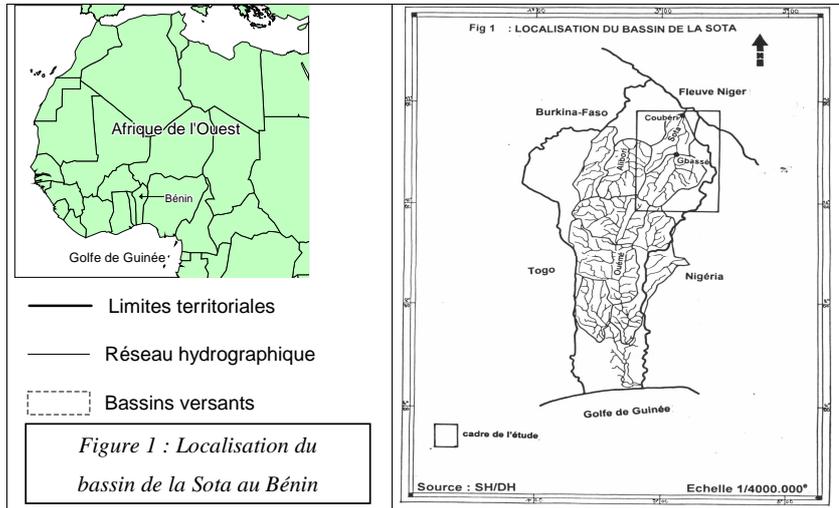
### Abstract

The analysis of the rainfall series reveals a brutal reduction in the quantities of water precipitated during decade 70. The rainfall fall relates to especially the monthly heights of July, June, August and September. In addition, the rainfall deficit between the periods 1955-1972 and 1973-1995 of the wet months are determining in the annual deficit observed. This deficit varies between 13 and 25%. The rainfall weight of these four months is significant in the annual totals.

**Key Words** : basin, Sota, rainfall, deficit, rainfall weight.

### Introduction

Les années 1983 et 1984 ont été des périodes de sévères sécheresses aussi bien en Afrique Sahélienne qu'au Bénin dans le Golfe de Guinée. De 1984 à 1990, l'histoire pluviométrique du Bénin reste marquée par la multiplication des déficits avec des conséquences sur les écosystèmes et dans les bassins des cours d'eau (Houndéno, 1999). Dans le bassin de Sota (figure 1), les totaux pluviométriques des quatre mois (juin, juillet, août et septembre) constituent à eux seuls plus de 70% de la hauteur annuel de pluie (Vissin, 2001 et Vissin et al, 2002). La « rupture » de stationnarité observée en 1972 à partir des tests de Pettitt et de Mann-Kendall dans les séries pluviométriques met en évidence un déficit remarquable entre les sous-périodes 1973-1992 et 1955-1972. Ce déficit est largement dépendant des mois de juin, juillet, août, septembre.



## 1 Méthodes

La reconstitution des chroniques de pluies est faite par régionalisation des données ponctuelles collectées sur le réseau de faible densité car il n'est pas possible d'interpoler les valeurs journalières décennales.

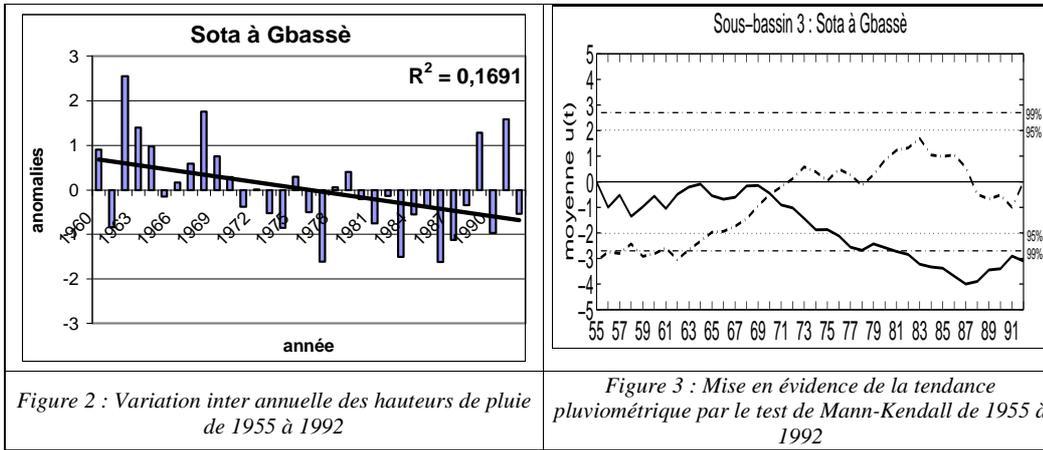
Ainsi, le krigeage a été utilisé pour déterminer des valeurs mensuelles. Le krigeage est une méthode d'estimation non biaisé et optimale des données. Il permet le calcul d'une variable d'estimation et la régionalisation des paramètres pluviométriques sur les bassins versants (Le Barbé et al., 1993). La méthode de krigeage que nous avons adoptée dans le cadre de cette étude est celle appliquée à la cartographie des précipitations journalières. Ainsi, les moyennes pluviométriques sur les différents sous-bassins ont été calculées à partir de la carte des grilles et correspondent aux moyennes des nœuds contenus à l'intérieur de chaque sous-bassin.

L'évaluation des déficits entre les sous-périodes 1955-1972 et 1973-1992 a pour objectif de mettre en évidence la péjoration pluviométrique observée dans le bassin au cours des années 1970. Il se formule comme suit : 
$$Déficit = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$
 avec  $m_1$  = la moyenne de la période 1955-1972 ;  $m_2$  = la moyenne de la période 1973-1992. Le choix des sous-périodes est issu des résultats de l'application des tests de Pettitt et de Mann-Kendall sur les différentes séries.

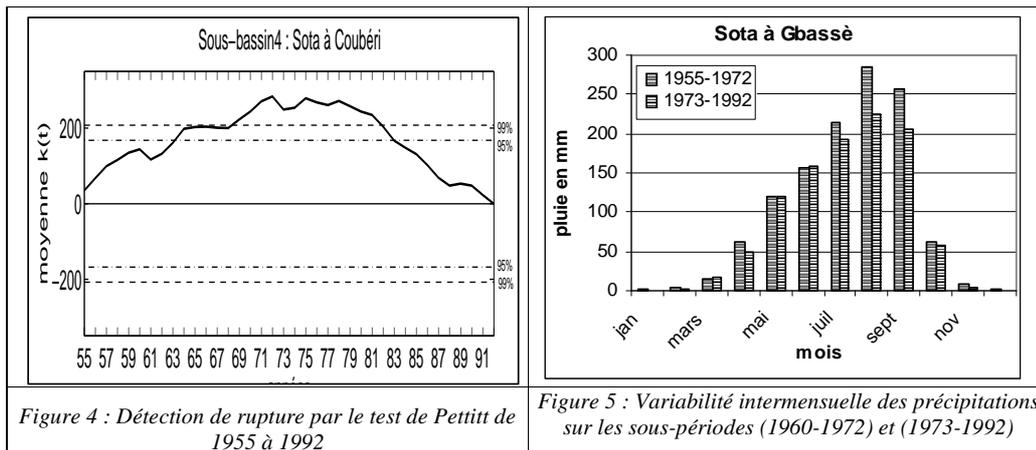
## 3- Présentation et analyse des résultats

### 3.1. Une baisse remarquable des hauteurs de pluie depuis les années 1970

De 1955 à 1992 le bassin de le Sota a connu une tendance générale à la baisse de la pluviométrie mais qui reste par une légère reprise dans les années 1980 (*figure 2*). Les déficits pluviométriques remarquables sont plus sensibles dans les années 1973 et 1974 (Olivry, 1993). Les anomalies positives sont plus fréquemment observées avant 1972, c'est le cas des années : 1957, 1962, 1969 caractérisées par des excédents pluviométriques importants. Le test de Mann-Kendall appliqué à la série montre un changement dans l'évolution de l'écoulement et de la chronique des hauteurs de pluie entre les périodes 1955-1972 et 1973-1992 (*figure 3*).



De même, le test de Pettitt appliqué aux mêmes séries des sous-bassins, détecte une rupture de stationnarité de l'écoulement au début de la décennie 1970, entre 1970 et 1975 (figure 4). On note une importante baisse des hauteurs de pluie mensuelles entre les sous périodes 1973-1992 et 1955-1972 (figure5). Par ailleurs, l'évolution de la pluviométrie moyenne intermensuelle des sous-périodes indique pour tous les sous-bassins de la période avant 1972, une saison pluvieuse très importante avec maximum en août supérieur à 250 mm. La période 1973-1992 est marquée par une baisse des lames d'eau précipitées des mois les plus humides (juin, juillet, août, septembre) et un étalement plus sensible des pluies pendant la saison.



Le Tableau 1 souligne bien le rôle important joué par ces quatre mois pluvieux dans la péjoration pluviométrique du bassin. Le déficit des mois de juin, juillet, août et septembre entre la période 1955-1972 et la période 1973-1992 est important et varie d'un sous-bassin à l'autre : -17% dans la Sota à Gbassè (tableau 1) . Le mois d'août paraît déterminant dans la péjoration pluviométrique observée dans le bassin.

Tableau 1 : Part du déficit des mois humides dans le déficit global entre les périodes 1955-1972 et 1973-1992

| Sota à Gbassè   | 1955-1992   | 1955-1972   | 1973-1992   | Ecart<br>1955-1972<br>et<br>1973-1992 | Déficit<br>1955-1972<br>et<br>1973-1992 |
|---|-------------|-------------|-------------|---------------------------------------|---|
| 12 mois de l'année  | 1 108       | 1 190       | 1 034       | -156                                  | 13 %                                    |
| 4 mois (juin, juillet, août, septembre)                               | 844         | 916         | 763         | -153                                  | 17 %                                    |
| Ecart pluie (12 mois) et 4 (mois)                                     | 364         | 286         | 771         | -3                                    | -4                                      |
| <b>Les 4 mois (juin, juillet, août et sept.) dans pluie annuelle)</b> | <b>76 %</b> | <b>77 %</b> | <b>74 %</b> | <b>98 %</b>                           | <b>130%</b>                             |

Le poids pluviométrique des mois de juin, juillet, août et septembre dans la moyenne pluviométrique de la période 1955-1992 (moyenne pluviométrique des quatre mois pour la période 1955-1992 par rapport à la moyenne de la même période) est estimé à 76 % dans la Sota à Gbassè et 83 % dans la Sota à Coubéri (non montré). Le déficit de ces mois entre les sous-périodes 1955-1972 et 1973-1992 représente 130 % du déficit des 12 mois de l'année.

### Conclusion

Cette étude met en évidence la variabilité pluviométrique dans le bassin de la Sota et le rôle déterminant des mois humides de l'année dans la péjoration pluviométrique depuis 40 ans. L'évolution pluviométrique est caractérisée par une période déficitaire à partir des années 70 avec une rupture de stationnarité significative depuis 1972. Cette phase sèche est marquée par une forte diminution des pluies supérieures à 130 mm enregistrées au cours des mois de juin, juillet, août et septembre. Le cumul des totaux mensuels de juin, juillet, août, septembre, explique à eux seuls plus de 70 % de la variabilité de la pluie annuelle. Cette situation montre le rôle déterminant des mois les plus humides (juin, juillet, août et septembre) dans la péjoration pluviométrique observée depuis quatre décennies.

### Références bibliographiques

- HOUNDENOU C., 1999 : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, UMR 5080 CNRS « Climatologie de l'Espace Tropical » Dijon. 390 pages.
- Le BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y., 1993 : Monographie des ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Paris, ORSTOM, 540 pages.
- OLIVRY J. C., 1993 : Evolution récente des régimes hydrologiques en Afrique intertropicale. In « l'eau, la terre et les hommes, hommage à René Frécaut ». Madeleine Griselin Ed. Presses Universitaires de Nancy, pp 181-190.
- VISSIN E. W., 2001 : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger. Mémoire de DEA, CRC/université de Bourgogne, Dijon, France, 53 pages.
- VISSIN E. W., BOKO M., PERARD J., HOUNDENOU C., 2002 : Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest), In Publications de l'Association Internationale de Climatologie., Vol 15. pp 368-376, Besançon.

## SECHERESSE HYDROLOGIQUE ET TARISSEMENT DANS LE BASSIN DE LA SOTA (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

E. W. VISSIN<sup>1&2</sup>, M. BOKO<sup>1</sup> & J. PERARD<sup>2</sup>

(1) Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en eau et de la Dynamique des Ecosystèmes. Université d'Abomey-Calavi. 03- BP. 1122. Jéricho, Cotonou-03, Bénin. Emel : [exlaure@yahoo.fr](mailto:exlaure@yahoo.fr), [fr.mboko47@yahoo.fr](mailto:fr.mboko47@yahoo.fr),  
(2) Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, 6, boulevard Gabriel, 21 000 Dijon. Emel : [perardj@u-bourgogne.fr](mailto:perardj@u-bourgogne.fr)

### Résumé

Cette étude vise à identifier et caractériser la sécheresse hydrologique. On enregistre des déficits d'écoulement entre les périodes 1960-1972 et 1973-1992 de -63% dans la Sota à Gbassè et de -40% à Coubéri et des déficits de recharge respectivement de -21% et -37%.

**Mots clés :** bassin, sécheresse hydrologique , écoulement, déficit

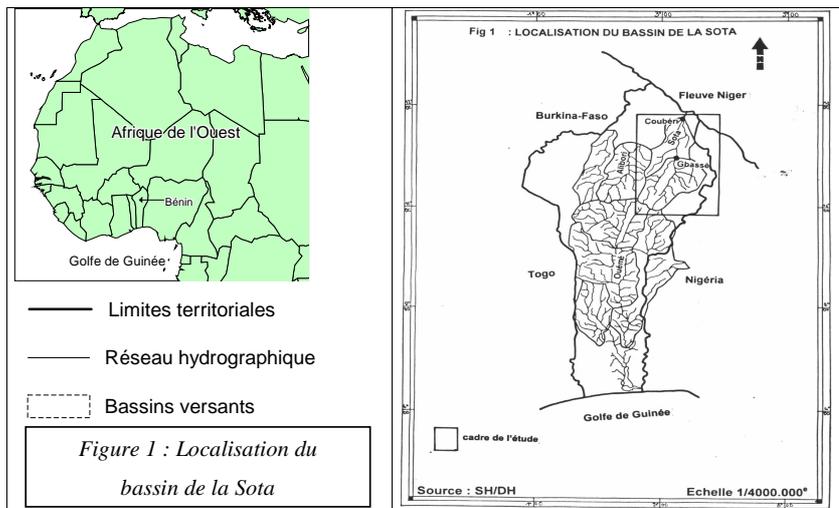
### Abstract

This study aims to identify and characterize the hydrological dryness. One records deficits of flow between the periods 1960-1972 and 1973-1992 of -63% in Sota with Gbasse and of -40% in Couberi and the deficits of refill respectively of -21% and -37%.

**Key Words:** basin, hydrological dryness, flow, deficit.

### Introduction

Les péjorations éventuelles dans le cycle hydrologique de la Sota (figure 1) apparaissent



graduellement au bout d'une longue période et sous les conditions climatiques variées. L'évolution de l'écoulement du bassin de la Sota montre une baisse importante depuis 1972 consécutive à la « rupture » pluviométrique observée cette même année (Vissin, 1998 et 2001, 2002).

## 1. Méthodes

L'étude de l'évolution des écoulements est faite à partir des données obtenues au service de l'hydrologie/Bénin. Après la vérification de la qualité de celles-ci, les lames d'eau écoulées ont été calculées sur les sous-bassins sur la période 1955-1992.

Les lames d'eau écoulées, étant des données spatiales, elles s'expriment par la formule

suivante :  $Léc_i = Lem_i + (Q_{mars} - Q_{mars_{i-1}}) \times Tar / S$  Avec :  $Léc_i$  = lame écoulée due aux pluies de l'année  $i$  (mm) ;  $Lem_i$  = lame écoulée effectivement mesurée au cours de l'année  $i$  (mm) ;  $Tar$  = durée du tarissement (en seconde (s)) ;  $S$  = surface du bassin ( $km^2$ ) ;  $Q_{mars}$  = débit de mois de mars ( $m^3$ )

L'évaluation des déficits d'écoulement entre les périodes 1955-1972 et 1973-1992 a pour objectif de mettre en évidence la péjoration hydrologique observée dans le bassin au cours des années 1970. Le choix des périodes est issu des résultats de l'application des tests de Pettitt et de Mann-Kendall sur les différentes séries. Le test paramétrique de Student a permis de caractériser et d'évaluer la différence hydrométrique significative entre 1955-1972 et 1973-1992. La loi de tarissement de

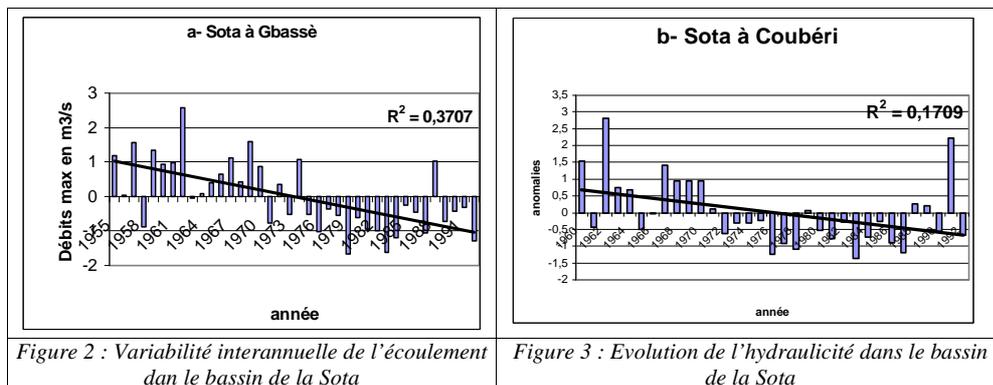
Maillet formulée comme suit :  $Q_i = Q_o e^{-\alpha(t_i - t_o)}$  avec  $Q_i$  et  $Q_o$ , débits aux instants  $t_i$  et  $t_o$ , exprimés en jours, et  $\alpha$ , coefficient de tarissement dépendant des caractéristiques physiques et

géométriques de l'aquifère qui à la dimension de l'inverse d'un temps.  $\alpha = \frac{1}{T}$  a permis de mettre en évidence les tarissements sur les sous-bassins de Gbassè et de Coubéri.

## 2- Résultats

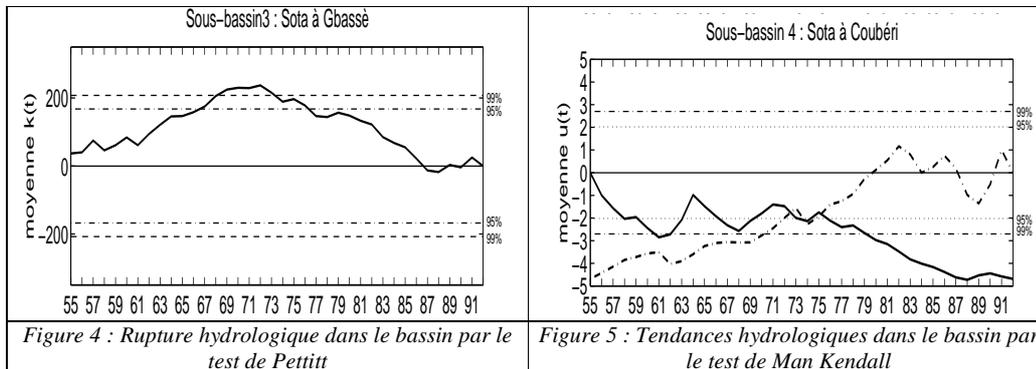
### 2.1-Baisse annuelle remarquable du régime hydrologique et de l'hydraulicité

Les Figures 2 et 3 présentent l'évolution interannuelle des débits moyens annuels (valeurs centrées) et des hydraulicités respectives de chacun des sous-bassins. La période de plus fort débit entre 1955 et 1970 est marquée par les crues de 1960, 1962, 1967 et 1969. Certains auteurs J. L. PROBST et Y. TARDY, (1997) ont même, par rapport à cette évolution, pronostiqué une tendance à la hausse pour l'hydraulicité de l'Afrique. Les décennies 71-80 et 81-90 présentent toutes des anomalies négatives d'écoulement avec une reprise relative vers la fin des années 1980 où on n'atteint la moyenne que sur le sous-bassin de la Sota à Coubéri (Figures 2 et 3). Des années de grands déficits d'écoulements, 1976, 1983, 1984, 1987, sont observées.



Le test de Pettitt appliqué aux séries hydrométriques des sous-bassins, détecte une rupture de stationnarité de l'écoulement au début de la décennie 1970 (Mahé et Olivry, 1995), entre 1970 et 1975 (Figure 4).

Le test de Mann-Kendall (figure 5) décèle un changement dans l'évolution de l'écoulement et de la chronique de l'hydraulicité entre les périodes 1960-1972 et 1973-1992.



## 2.2- Impact des déficits des mois les plus arrosés sur les écoulements mensuels du bassin

Le déficit relatif entre les périodes 1955-1972 et 1973-1992 est en hausse de juillet à octobre dans les sous-bassins de la Sota à Gbassè (Tableau 1). L'écart des débits des mois de juillet, août, septembre et octobre entre ces deux périodes est très important ( 64.77 % dans le sous-bassin de la Sota à Gbassè).

Tableau 1 : déficits des mois humides dans la bassin de la Sota à Gbassè

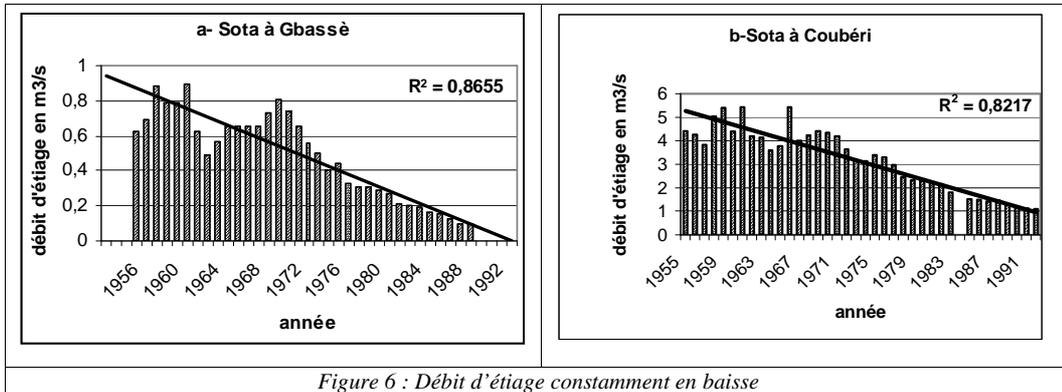
| Mois         | Débit en m <sup>3</sup> /s |               |               | Ecart          | Déficit (%)   |
|--------------|----------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
|              | 1960-1992                  | 1960-1972     | 1973-1992     |                |               |
| Juillet      | 14.86                      | 18.86         | 12.25         | -6.00          | <b>-32.87</b> |
| Août         | 44.89                      | 69.76         | 28.72         | -41.04         | <b>-58.83</b> |
| Septembre    | 99.03                      | 169.24        | 53.39         | -115.85        | <b>-68.45</b> |
| Octobre      | 41.62                      | 72.03         | 21.86         | -50.17         | <b>-69.65</b> |
| <b>Total</b> | <b>200.40</b>              | <b>329.89</b> | <b>116.22</b> | <b>-213.67</b> | <b>-64.77</b> |

## 2.4- Etude de tarissement du bassin

Les écoulements de la Sota (figures 6) ont connu une baisse considérable depuis les années 1970. Les étiages sont depuis quelques années nuls dans le bassin de la Sota à Gbassè et exceptionnellement nul en 1984 dans le bassin de la Sota à Coubéri.

Dans le bassin de la Sota à Gbassè, dès l'arrêt des pluies, on observe un tarissement « rapide » jusqu'à ce que le débit atteigne 2,6 m<sup>3</sup>/s, où on constate un ralentissement du processus de tarissement. La durée du tarissement dans ce bassin est de 30 jours (Le Barbé & al, 1993).

Par contre, dans le bassin de la Sota à Coubéri, la durée de tarissement est de 142 jours. A partir de 1968, on constate une baisse sensible de l'écoulement. A un tarissement « rapide », se succède un tarissement lent avec un débit d'étiage soutenu par l'écoulement souterrain.



## Conclusion

Depuis plus de vingt ans, le bassin de la Sota, comme une bonne partie de l'Afrique tropicale, connaît une baisse importante de ses ressources en eau due aux déficits pluviométriques aigus des années 1972 et 1973. Une recrudescence notable de la sécheresse s'est manifestée en 1983 et 1984 et les déficits restent globalement jusqu'à la période actuelle. Ceux-ci se sont exacerbés au niveau des écoulements des cours d'eau du bassin installant une sécheresse hydrologique marquée par l'assèchement des cours.

## Références bibliographiques

- Le BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y., 1993 : *Monographie des ressources en eaux superficielles de la République du Bénin*. Paris, ORSTOM, 540 pages.
- MAHE G., OLIVRY J.C., 1995 : Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. *Rev. Sécheresse*, 6(1), 109 - 117.
- PROBST J. L., TARDY Y., 1987 : *Long range streamflow and wold continental runoff fluctuations since the beginning of this century*. *J Hydrol*, 94 289-311.
- VISSIN E. W., 2001 : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger. Mémoire de DEA, CRC/université de Bourgogne, Dijon, France, 53 pages.
- VISSIN E. W., BOKO M., PERARD J., HOUNDENOU C., 2002 : Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest), *In PUBLICATIONS DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE.*, vol 15.

## DEFICIT D'EVAPORATION ET CARACTERISATION DU RISQUE HYDRIQUE POTENTIEL AU SUD DE LA REPUBLIQUE DU CONGO

R. M'BAYI

*Centre de Recherches de Climatologie CNRS-FRE 2470, Université de Bourgogne.  
Email : rmbayi@u-bourgogne.fr*

### Résumé

Les occurrences de fréquence du déficit hydrique montrent une importante sécheresse (juin-septembre) dans les stations sud du Congo. En saison des pluies, des mois de faibles déficits à sub-secs sont identifiés, notamment en octobre, en décembre-février et en mai.

**Mots-clés** : Bilan hydrique potentiel, déficit hydrique, sud-Congo, Afrique Centrale occidentale.

### Abstract

In the southern stations of Congo frequency count of the water deficit shows an important dryness from June to September. During the rainy season months of weak deficits to sub-dry are identified, in particular in October, December-February and May.

**Key-words** : Water balance analysis, water deficit, Southern Congo, Western Central Africa.

### INTRODUCTION

Le bilan hydrique potentiel (BHP) est étudié ici pour sa particularité à caractériser la sécheresse et l'humidité (Choisnel, 1992 ; Dubreuil, 1997) de l'atmosphère, en estimant la restitution de l'eau du sol par la transpiration (ETP) de la plante. Il se définit comme la différence entre l'apport pluviométrique (P) et les pertes représentées par le recyclage de l'humidité atmosphérique. Ce traceur est utilisé dans le suivi de l'intensité du risque de déficit hydrique (DE) au sud du Congo (Samba et Diop, 2000), entre 3-5°S et 12-15°E (fig. 1).

### 1. Données et méthodologie

La pluviométrie et les températures mensuelles proviennent des fichiers de la Météorologie Nationale du Congo, du Centre de Recherches de Climatologie de Dijon, de l'actuel Observatoire Hydrologique Régionale de l'Afrique de l'Ouest et Centrale et de l'ASECNA/IRD. Elles concernent quatre stations termo-pluviométriques (fig. 1) et couvrent la période 1947-92. Les valeurs du rayonnement qui intervient dans le calcul de l'ETP Turc sont lues sur une table.

En raison des différentes sources utilisées, le test du double cumul est appliqué pour vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations (de référence et à contrôler). L'ETP est estimée à partir du modèle de Turc (1961), pour sa simplicité et le peu de paramètres que son calcul exige, à l'inverse de la complexité et des nombreux paramètres que nécessite le modèle de Penman utilisé par Samba-Kimbata (1992), Laclau et *al.* (2001). Ce travail présente les résultats sur les fréquences des déficits d'évaporation (DE), définis par  $P-ETP > 0$  et en fonction des seuils de degré de déficit estimé. Du plus faible au plus fort, nous avons retenu les seuils de déficit suivants :  $DE < 40.0$  mm : faible déficit ;  $DE$  entre 40.0 et 74.9 mm : sub-sec,  $DE > 74.9$  mm : sec (M'Bayi, 2004).

### 2. Résultats et discussion

#### 2.1. Début des déficits d'évaporation

En mai (1947-1992), le rythme d'occurrence du déficit est plus élevé (fig. 2) : il varie de 33,3 % à 55,6 % des cas, respectivement à Sibiti et Makabana. Le déficit inférieur à 40 mm est très variable à l'échelle spatiale. Le déficit apparaît dans 19,4 % des cas à Sibiti, 22 % à Mouyondzi, 24 % à

Dolisie et 37 % à Makabana. Les déficits hydriques peuvent donc être très précoces et leur occurrence varie nettement entre les différentes stations (M'Bayi, 2004).

Toutefois, la sécheresse n'est généralisée qu'entre les mois de juin et septembre, le déficit d'évaporation est alors complet (fig. 2, fig. 3 et tab. 1). La sécheresse pluviométrique saisonnière est, évidemment, en cause. Les occurrences des mois secs ( $DE > 75$  mm) sont relativement variables entre les différentes stations. Les mois de juillet et août enregistrent le maximum de cas de déficits au cours de la saison sèche hydrique. À Sibiti, en zone de forêt, le bimestre juillet-août enregistre 100 % de cas de déficits entre 1947 et 1992. En effet, la couverture forestière est sujette à un maximum d'évapotranspiration par rapport aux zones de savanes arbustives. Cette propension à perdre plus d'eau occasionne un déficit hydrique en juillet et en août. Pendant ces deux mois, les plantes sont plus sujettes au stress hydrique. Cela se traduit par un dessèchement de la partie aérienne des herbacées et une tendance déciduale des arbustes en savane et des arbres en forêt.

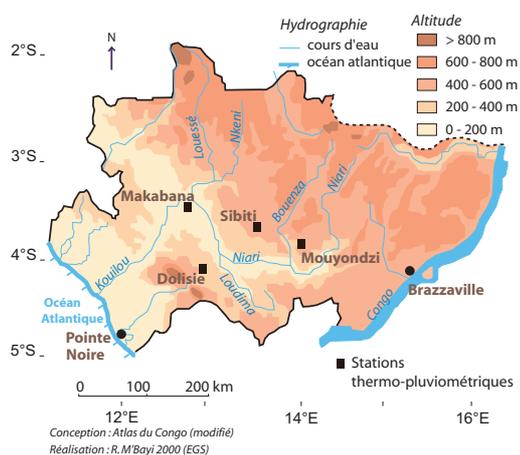


Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude et des quatre stations thermo-pluviométriques au sud de la république du Congo.

Les stations de Makabana, Mouyondzi et Dolisie sont en zone de savanes arbustives. Sibiti est en zone de forêt.

Brazzaville et Pointe-Noire sont les deux principales villes du Congo ; elles ne sont pas prises en compte dans cette étude.

Le Koulou-Niari représente le second grand bassin hydrographique du Congo.

| Localisation |            |             | Saison sèche |         |      |           |
|--------------|------------|-------------|--------------|---------|------|-----------|
| Station      | Végétation | Topographie | Juin         | Juillet | Août | Septembre |
| Dolisie      | savane     | dépression  | -            | 97,8    | 97,8 | 87        |
| Makabana     | savane     | dépression  | 92,6         | 96,3    | 92,6 | -         |
| Mouyondzi    | savane     | plateau     | -            | 44      | 92,7 | 44        |
| Sibiti       | forêt      | plateau     | -            | 100     | 100  | 71        |

Tab. 1 : Occurrences extrêmes (en %) du nombre de mois secs pour un déficit d'évaporation supérieur à 75 mm dans la vallée du Niari au sud du Congo (1947-1992).

Le nombre de cas de déficits supérieurs à 75 mm est recherché pour chaque mois de la saison sèche hydrique. Le minimum et le maximum sont présentés, associés aux conditions du milieu respectif. Les savanes arbustives à Mouyondzi présentent une densité de la strate arbustive plus élevée que dans les deux autres savanes. Cela résulte de la prédominance de *Hymenocardia acida*, l'arbuste le plus représenté, a fortiori le plus productif (M'Bayi, 2004).

## 2.2. Fin des déficits d'évaporation

Le mois d'octobre amorce la saison des pluies sans que ces dernières puissent remplir les réservoirs du sol à cause de la forte sécheresse de septembre (des déficits supérieurs à 74,9 mm varient entre 44,0 % et 87,0 % des cas, respectivement à Mouyondzi et Dolisie). L'ETP reste relativement faible au mois d'octobre (fig. 2 et fig. 3). On répertorie 31,7 % des cas de déficit d'évaporation à Mouyondzi et 78,3 % des cas à Dolisie. Durant ce mois, la région de Mouyondzi, enregistrant moins de déficit qu'au mois de mai, se retrouve en opposition de phase par rapport aux régions de Dolisie, de Makabana et de Sibiti. La sécheresse s'estompe nettement en novembre (fig. 2 et fig. 3)

dans les plateaux de Sibiti et Mouyondzi couverts respectivement de forêts semi-décidues et de savanes densément arbustives, de même que dans les « Basses terres » de Makabana (3,7 % des cas) en savanes faiblement arbustives. Mais elle a tendance à perdurer durant ce mois à Dolisie (15,2 % des cas).

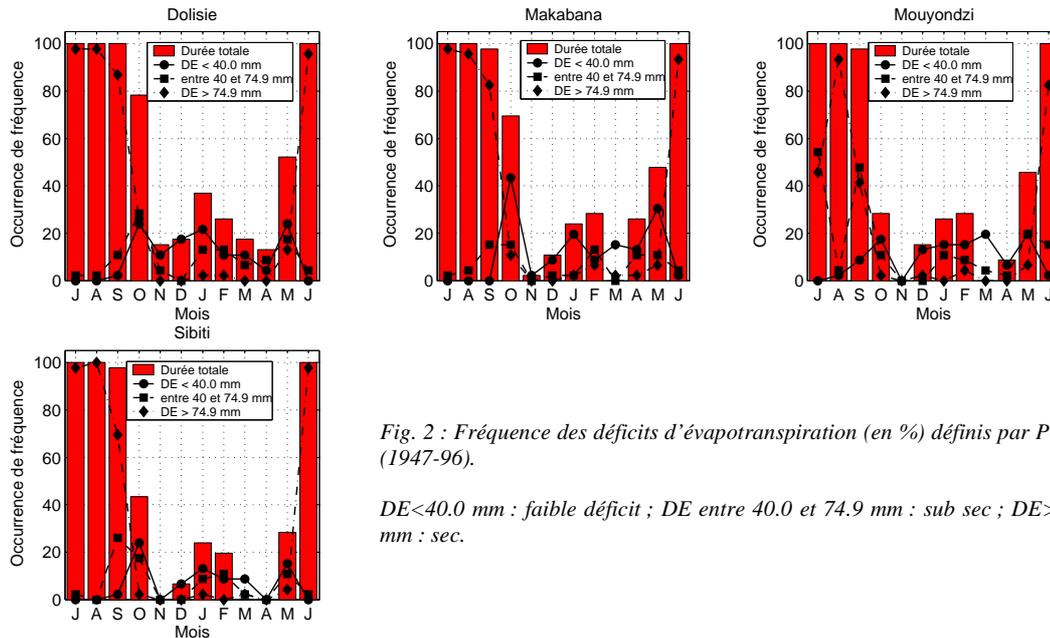


Fig. 2 : Fréquence des déficits d'évapotranspiration (en %) définis par P-ETP (1947-96).

*DE < 40.0 mm : faible déficit ; DE entre 40.0 et 74.9 mm : sub sec ; DE > 74.9 mm : sec.*

Toutes les stations pratiquement connaissent un fléchissement de gain hydrique, sinon une rupture, qui touche invariablement, entre 1947-92, les mois de décembre à mars simultanément à la rémission des pluies. Cela se traduit à Sibiti par des DE dans 25,8 % de cas en février, 29,6 % des cas en février à Makabana, 29,3 % des cas en janvier-février à Mouyondzi et 37,0 % des cas en janvier à Dolisie (fig. 1 et fig. 2).

À l'inverse, ce sont les mois sub-secs qui caractérisent principalement cette période-charnière, principalement en février à Sibiti ; les faibles déficits apparaissent plutôt en janvier à Dolisie, en janvier et février à Mouyondzi. Ces déficits, en période de croissance végétative, présentent potentiellement une double contrainte. Non seulement ils inhibent les échanges atmosphériques nécessaires aux plantes en phase de croissance, mais encore ils rallongent la saison défavorable durant laquelle la végétation est soumise à un stress hydrique. La figure 2 montre une décroissance linéaire de la fréquence mensuelle des DE à mesure que l'humidité s'installe. La relation est significative entre les mois secs et les occurrences du BHP à 25, 50 et 75 %, le maximum de variance étant obtenu avec la fréquence à 25 %. L'instabilité annuelle de la période de sécheresse est, dans ces conditions, renforcée par un DE qui dure de un à trois mois. Au rythme médian de quatre ou cinq mois de sécheresse se surimpose une sécheresse plus longue en année vraie, qui s'apparente à celle des latitudes tropicales sèches. On comprend mieux ainsi la tendance xérophyte de nombreuses plantes caractéristiques du domaine qui semblent avoir trouvé un habitat où leurs exigences-tolérances correspondent à la disponibilité en eau, alors même que ces conditions semblent défavorables aux espèces endémiques du Bas-Congo (M'Bayi, 2004).

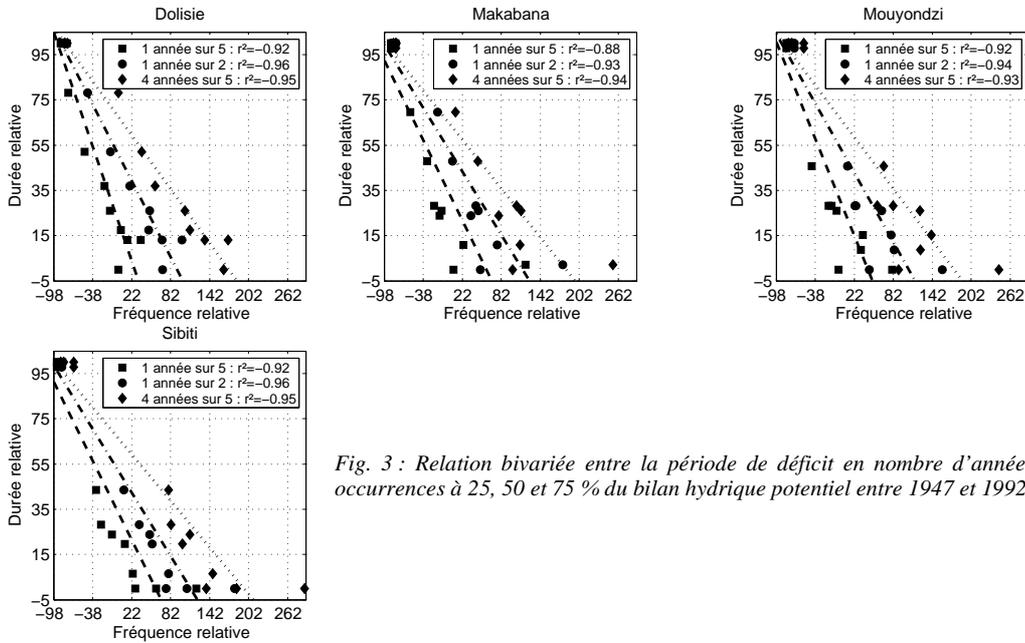


Fig. 3 : Relation bivariée entre la période de déficit en nombre d'années et les occurrences à 25, 50 et 75 % du bilan hydrique potentiel entre 1947 et 1992

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La modélisation du bilan hydrique potentiel a mis en évidence le caractère déficitaire de l'humidité atmosphérique pendant la saison sèche, signal encore présent mais à moindre degré, pendant la saison des pluies. Cependant la variabilité des ressources en eau devrait permettre de caractériser de façon précise les disponibilités en eau du sol, et à terme de mieux comprendre les savanes arbustives présentes.

### BIBLIOGRAPHIE

- CHOISNEL E., 1992. L'analyse spatiale du bilan hydrique en agroclimatologie. *La Météorologie*, 8<sup>e</sup> série : 31-42.
- DUBREUIL V., 1997. La sécheresse dans la France de l'Ouest : une contrainte climatique trop souvent oubliée, *Sécheresse*, 8 : 47-55.
- LACLAU J.-P., ARNAUD M., BOUILLET J.-P. and RANGER J., 2001. Spatial localization of *Eucalyptus* roots in a deep sandy soil in the Congo. Relationships with the ability of the stand to uptake water and nutrients, *Tree Physiology*, 21: 129-136.
- M'BAYI R., 2004. Variabilité climatique au sud de la République du Congo : l'exemple de la vallée du Niari, Thèse de Doctorat de géographie, Université de Bourgogne, Dijon, 218 p.
- SAMBA G. et DIOP M., 2000. Bilan hydrique dans la région du Pool (République du Congo). *Cahier agriculture*, 9, 47-53.
- SAMBA-KIMBATA M.J., 1992. Les contraintes bioclimatiques dans la région du Pool au Congo, *Publi. de l'Association Internationale de Climatologie*, 5 : 125-32.
- TURC L., 1961. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.*, 12 : 13-51.

## COMPARAISON DES FREQUENCES DES TYPES DE CIRCULATION OBSERVEES (DONNEES DE NCEP) ET SIMULEES (DONNES DE HadAM3P) EN GRECE

H. KUTIEL<sup>(2)</sup>, K. TOLIKA<sup>(1)</sup>, CHR. ANAGNOSTOPOULOU<sup>(1)</sup>, E. FLOCAS<sup>(3)</sup>,  
et P. MAHERAS<sup>(1)</sup>

(1) Département de Météorologie et de Climatologie, Université de Thessaloniki 54124, Thessaloniki, Grèce, Tel.  
00.30.2310.998471, Fax. 00.30.2310.995392 e-mail: [maheras@geo.auth.gr](mailto:maheras@geo.auth.gr)

(2) Département de Géographie, Université de Haifa, Israël

(3) Laboratoire de Météorologie, Département de Physique appliquée, Université d'Athènes

### Résumé

Les géopotentiels à 500hPa simulés par le modèle HadAM3P peuvent bien reproduire la circulation régionale en Méditerranée orientale mais le développement d'un modèle de simulation du climat en utilisant l'approche des types de circulation doit être fait avec beaucoup de prudence.

**Mots – clés :** types de circulation, downscaling, classification automatique, modèle de circulation générale, simulation

### Abstract

The geopotential data at 500hPa from the general circulation model HadAM3P can reproduce satisfactorily the regional circulation of the eastern Mediterranean. However, the use of a downscaling model based on a circulation type approach should be used with prudence.

**Key – words:** circulation types, downscaling, automatic classification, general circulation model, simulation

### Introduction

La simulation des changements climatiques, en supposant une concentration accrue des gaz à effet de serre, se fait en utilisant les modèles de circulation générale (MCG ou GCM en anglais). Dans ce cas, le plus gros problème résulte de ce que l'on appelle la focalisation (downscaling) c'est à-dire l'amplification spatiale et temporelle de la circulation générale (Hufty, 2001), car un MCG est incapable de reproduire la variabilité des températures ou des précipitations quotidiennes et, en particulier, les valeurs extrêmes (Palutikof et al., 1997). C'est la raison pour laquelle différentes techniques de « downscaling » ont été développées, basées soit sur les modèles eux-mêmes soit sur des méthodes empiriques.

Les méthodes empiriques fournissent des solutions simples. Elles se basent sur l'identification des relations entre la circulation générale et les éléments climatiques d'échelles régionales ou locales; des relations que l'on applique ensuite aux données produites par les MCG. Une des méthodes empiriques largement utilisée est celle de régression multiple linéaire basée sur la classification des types de circulation à l'échelle régionale (Goodess et Palutikof, 1998). L'utilisation de cette méthode implique, de la part des chercheurs, deux choix majeurs: sur le mode de classification automatique et sur le lien entre la circulation atmosphérique (la cause) et les paramètres climatiques (le produit) (Maheras, 2002). Elle implique aussi un choix sur le principe fondamental selon lequel la circulation régionale peut-être bien reproduite en appliquant la méthode de classification aux données de MCG. Cet article se propose d'évaluer le degré de la performance d'un Modèle de Circulation Générale dans la reproduction de la circulation régionale pour la simulation du climat actuel.

### 1. Données et Méthode.

On a utilisé les données journalières de géopotentiels au niveau de 500hPa pour les points de grille (une valeur par  $\varphi = 2.5^\circ$ ,  $l = 2.5^\circ$ ) de NCEP/NCAR Reanalysis Project (Kalnay et al., 1996), couvrant l'Europe et la Méditerranée sur la période 1960-1990. On a également utilisé les données

journalières de géopotentiels HadAM3P (addfa) pour la même période, la même résolution et la même fenêtre que les données NCEP/NCAR. On a appliqué la méthode de classification automatique de types de circulation, récemment développée (Maheras et al., 2000) aux données journalières de deux ensembles de données et on a construit deux calendriers de types de circulation pour la période 1960-1990. A partir de deux calendriers journaliers on a calculé les fréquences relatives mensuelles, saisonnières et annuelles ainsi que les écarts-types correspondants. Une comparaison entre les fréquences relatives saisonnières des deux calendriers a été faite en utilisant les différences de ces fréquences (HadAM3P- NCEP) ainsi que les différences des écarts- types correspondants. Le t-test de Student – Fischer a servi à contrôler l'adéquation aux fréquences observées (données NCEP) des fréquences simulées (données HadAM3P), au seuil de  $P \geq 0.05$ .

## 2. Résultats.

Le tableau 1(a, b, c) donne les fréquences saisonnières et annuelles des deux classifications ainsi que les différences correspondantes. Le tableau 2(a, b, c) fournit les valeurs des écarts-types correspondants. D'après le tableau 1 on constate qu'à l'échelle annuelle, le type anticyclonique Asw est partout le plus fréquent. La différence entre les deux classifications est égale à 0.8. Egalement, le type cyclonique Csw est partout le plus fréquent, avec une différence égale à 0.5. En ce qui concerne l'apparition des types les moins fréquents, on trouve également des coïncidences. En effet, le type anticyclonique Ane est partout le moins fréquent (différence = -0.6) tandis que le type cyclonique Cn présente partout les fréquences les plus faibles (différence-0.5). Il est à noter que les différences des fréquences des types de circulation, à l'échelle annuelle, varient entre -2.2 (C) et 1.3 (Cs). Six types présentent des différences négatives (sous-estimation des fréquences par le modèle) tandis que 8 types connaissent des différences positives (surestimation des fréquences).

Tableau 1. Fréquences annuelles et saisonnières des types de circulation : NCEP (a), MCG (b), différences MCG-NCEP (c). En gris les différences statistiquement significatives

| (a) NCEP       | Anw   | Ane   | A     | Asw   | Ase   | Ae    | C     | Cs   | Csw   | Cnw   | Cne   | Cse  | Cn    | Cw    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Hiver          | 3.7   | 5.0   | 3.5   | 11.2  | 5.9   | 2.7   | 10.2  | 8.9  | 19.8  | 4.1   | 14.8  | 2.1  | 0.7   | 7.4   |
| Printemps      | 6.6   | 5.0   | 6.7   | 8.4   | 8.5   | 3.8   | 11.2  | 9.3  | 15.0  | 6.2   | 10.8  | 2.9  | 1.2   | 4.6   |
| Eté            | 13.0  | 8.9   | 11.4  | 12.1  | 12.2  | 4.8   | 12.3  | 4.0  | 7.4   | 3.8   | 8.0   | 0.6  | 0.4   | 1.1   |
| Automne        | 9.4   | 7.5   | 10.5  | 14.2  | 7.9   | 3.4   | 13.3  | 5.0  | 12.0  | 4.1   | 8.2   | 1.0  | 0.3   | 3.4   |
| Année          | 8.2   | 6.6   | 8.1   | 11.4  | 8.7   | 3.7   | 11.8  | 6.8  | 13.5  | 4.6   | 10.4  | 1.6  | 0.6   | 4.1   |
| (b) MCG(addfa) | Anw   | Ane   | A     | Asw   | Ase   | Ae    | C     | Cs   | Csw   | Cnw   | Cne   | Cse  | Cn    | Cw    |
| Hiver          | 3.3   | 3.2   | 4.7   | 9.1   | 10.7  | 3.0   | 8.4   | 12.4 | 18.7  | 3.8   | 10.6  | 3.2  | 1.0   | 7.8   |
| Printemps      | 6.7   | 4.7   | 5.4   | 11.4  | 5.3   | 3.4   | 10.8  | 10.2 | 17.7  | 4.4   | 10.7  | 3.0  | 1.7   | 4.5   |
| Eté            | 8.4   | 8.0   | 11.0  | 14.4  | 12.3  | 10.4  | 9.9   | 4.2  | 7.2   | 2.7   | 9.2   | 1.3  | 0.2   | 1.0   |
| Automne        | 9.1   | 7.9   | 7.1   | 14.1  | 11.2  | 3.7   | 9.0   | 5.7  | 12.7  | 3.2   | 9.8   | 1.1  | 1.6   | 4.0   |
| Année          | 6.9   | 6.0   | 7.1   | 12.3  | 9.9   | 5.1   | 9.5   | 8.1  | 14.0  | 3.5   | 10.1  | 2.1  | 1.1   | 4.3   |
| (c) MCG - NCEP | Anw   | Ane   | A     | Asw   | Ase   | Ae    | C     | Cs   | Csw   | Cnw   | Cne   | Cse  | Cn    | Cw    |
| Hiver          | -0.36 | -1.80 | 1.23  | -2.05 | 4.76  | 0.30  | -1.83 | 3.54 | -1.13 | -0.29 | -4.18 | 1.08 | 0.30  | 0.43  |
| Printemps      | 0.18  | -0.32 | -1.32 | 2.98  | -3.18 | -0.31 | -0.33 | 0.89 | 2.73  | -1.76 | -0.08 | 0.06 | 0.53  | -0.08 |
| Eté            | -4.62 | -0.91 | -0.39 | 2.31  | 0.09  | 5.52  | -2.45 | 0.13 | -0.19 | -1.13 | 1.22  | 0.69 | -0.21 | -0.05 |
| Automne        | -0.22 | 0.44  | -3.43 | -0.09 | 3.31  | 0.29  | -4.30 | 0.77 | 0.64  | -0.99 | 1.63  | 0.08 | 1.26  | 0.61  |
| Année          | -1.28 | -0.64 | -1.01 | 0.82  | 1.20  | 1.45  | -2.23 | 1.32 | 0.55  | -1.05 | -0.31 | 0.48 | 0.47  | 0.24  |

A l'échelle saisonnière on trouve deux types cycloniques dont les fréquences sont systématiquement sous-estimées durant toutes les saisons par le modèle (C, Cnw, différences négatives) ainsi que deux autres types cycloniques avec une surestimation systématique des fréquences pour toutes les saisons (Cs, Cse, différences positives). En ce qui concerne le type cyclonique le plus fréquent (Csw), durant les saisons extrêmes (hiver et été) on trouve une sous-estimation des fréquences, et au contraire, durant les saisons intermédiaires des fréquences surestimées apparaissent.

Le comportement des types anticycloniques est différent. C'est ainsi que les trois premiers types (Anw, Ane, A) présentent une sous-estimation pour trois saisons (Anw: hiver, été, automne, Ane : hiver, printemps, été, A : printemps, été, automne) le quatrième type Asw, le plus fréquent, présente deux saisons avec une sous-estimation des fréquences (hiver, automne) et les deux autres saisons avec surestimation de celles ci (printemps, été) et enfin les deux autres types anticycloniques (Ase, Ae) présentent pour trois saisons des fréquences surestimées (hiver, été, automne) et pour la quatrième saison (printemps) des fréquences sous-estimées.

Les valeurs des différences des écarts -types entre les fréquences observées et estimées sont en général faibles et de même ordre de grandeur que les différences des fréquences. Les différences négatives (sous-estimation de la variabilité de fréquences) sont plus fortes et plus fréquentes. Les plus importantes apparaissent au printemps (Cnw=-4.3, Anw=-3.5, Cse=-3.0). 55% des types pour toutes les saisons connaissent des différences négatives (sous-estimation de la variabilité), 41% des cas présentent des différences positives (surestimation de la variabilité), et deux types connaissent des différences égales à zéro (0).

Tableau2. Valeurs des écarts types des fréquences observées (a) et des fréquences simulées (b). c: différences des écarts- types simulées et observées.

| (a) NCEP        | Anw  | Ane  | A    | Asw   | Ase  | Ae   | C    | Cs   | Csw   | Cnw  | Cne   | Cse  | Cn   | Cw   |
|-----------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Hiver           | 3.76 | 4.46 | 2.58 | 5.87  | 2.44 | 1.99 | 3.72 | 3.09 | 6.46  | 2.65 | 5.64  | 2.52 | 0.85 | 3.06 |
| Printemps       | 7.94 | 3.81 | 4.42 | 2.57  | 5.90 | 2.57 | 1.99 | 3.42 | 3.27  | 6.64 | 2.53  | 5.84 | 2.60 | 0.87 |
| Eté             | 4.63 | 4.95 | 5.61 | 4.27  | 5.62 | 3.55 | 5.10 | 3.35 | 5.08  | 2.10 | 3.53  | 0.90 | 0.37 | 1.37 |
| Automne         | 4.32 | 3.48 | 3.47 | 5.61  | 4.04 | 2.67 | 4.80 | 2.91 | 4.31  | 2.22 | 4.08  | 1.42 | 0.53 | 2.25 |
| Année           | 8.43 | 8.63 | 8.69 | 11.77 | 9.88 | 7.03 | 6.90 | 6.85 | 14.97 | 5.68 | 10.75 | 4.79 | 2.02 | 5.02 |
| (b) MCG(addyfa) | Anw  | Ane  | A    | Asw   | Ase  | Ae   | C    | Cs   | Csw   | Cnw  | Cne   | Cse  | Cn   | Cw   |
| Hiver           | 3.14 | 3.06 | 2.99 | 4.73  | 5.20 | 1.97 | 3.69 | 3.92 | 5.43  | 1.92 | 4.58  | 1.94 | 1.16 | 4.68 |
| Printemps       | 4.46 | 3.08 | 2.60 | 5.21  | 3.87 | 1.99 | 3.96 | 3.74 | 4.72  | 2.33 | 3.56  | 2.82 | 1.31 | 2.56 |
| Eté             | 4.63 | 4.12 | 4.62 | 6.32  | 5.12 | 4.43 | 3.59 | 3.34 | 3.84  | 2.03 | 4.56  | 1.29 | 0.62 | 0.95 |
| Automne         | 5.35 | 3.72 | 3.46 | 5.05  | 4.62 | 2.58 | 4.06 | 2.88 | 4.62  | 2.48 | 4.99  | 1.22 | 1.39 | 2.42 |
| Année           | 9.74 | 6.77 | 7.84 | 10.33 | 9.21 | 6.81 | 7.86 | 7.90 | 10.25 | 4.77 | 8.62  | 4.58 | 1.90 | 6.61 |
| (c) MCG - NCEP  | Anw  | Ane  | A    | Asw   | Ase  | Ae   | C    | Cs   | Csw   | Cnw  | Cne   | Cse  | Cn   | Cw   |
| Hiver           | -0,6 | -1,4 | 0,4  | -1,1  | 2,8  | 0,0  | 0,0  | 0,8  | -1,0  | -0,7 | -1,1  | -0,6 | 0,3  | 1,6  |
| Printemps       | -3,5 | -0,7 | -1,8 | 2,6   | -2,0 | -0,6 | 2,0  | 0,3  | 1,4   | -4,3 | 1,0   | -3,0 | -1,3 | 1,7  |
| Eté             | 0,0  | -0,8 | -1,0 | 2,1   | -0,5 | 0,9  | -1,5 | 0,0  | -1,2  | -0,1 | 1,0   | 0,4  | 0,2  | -0,4 |
| Automne         | 1,0  | 0,2  | 0,0  | -0,6  | 0,6  | -0,1 | -0,7 | 0,0  | 0,3   | 0,3  | 0,9   | -0,2 | 0,9  | 0,2  |
| Année           | 1,3  | -1,9 | -0,8 | -1,4  | -0,7 | -0,2 | 1,0  | 1,1  | -4,7  | -0,9 | -2,1  | -0,2 | -0,1 | 1,6  |

## Conclusions.

On a évalué la performance du modèle HadAM3P dans la reproduction de la circulation régionale exprimée par la classification de types de circulation. La comparaison des données simulées et observées montre, qu'en moyenne, les fréquences saisonnières des types de circulation sont bien reproduites. Bien sûr on trouve un certain nombre des types où les différences entre les fréquences simulées et observées sont significatives mais dans la grande majorité des types (~70%) les différences des fréquences saisonnières ne sont pas significatives. Malgré cette constatation, l'erreur systématique de sous-estimation ou de surestimation des fréquences peut introduire de fortes incertitudes sur les résultats des modèles lorsque l'on se propose d'utiliser la méthode des types de circulation pour faire le développement d'une approche de downscaling. On trouve par exemple une diminution systématique pour toutes les saisons des types de circulation C et Cnw (il s'agit des types qui produisent plus de 40% de précipitation en Grèce) et au contraire une augmentation systématique des fréquences des types Cs et Cse (responsables de fortes précipitations en Crète).

L'interprétation des résultats des modèles doit être faite avec beaucoup de prudence. Un second désavantage de la méthode est illustré par le fait que la variabilité des fréquences simulées, dans la majorité des cas, est systématiquement sous-estimée, ce qui peut avoir des conséquences importantes sur la variabilité des valeurs simulées des précipitations et des températures.

En conclusion, les géopotentiels à 500hPa simulés par le modèle HadAM3P peuvent bien reproduire la circulation régionale en Méditerranée orientale mais le développement d'un modèle de simulation de climat en utilisant l'approche de type de circulation doit être fait avec beaucoup de prudence. On doit également évaluer et rendre compte de la persistance des types de circulation simulés, paramètre que l'on n'a pas examiné dans cette étude.

**Remerciements:** Cette communication a été faite dans le cadre du projet PYTHAGORAS financé par le Ministère de l'Education Hellénique.

### **Bibliographie.**

HUFTY A., 2001. Introduction à la climatologie; De Boeck Université. De Boeck et Larcier Editions de Boeck Universités, Bruxelles, 589p.

GOODESS, C.M., PALUTIKOF, J.P., 1998. Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation type approach to downscaling. *International Journal of Climatology*, 20, 1049-1066

KALNAY E, KANAMITSOU M, KISTLER R, COLLINS W, DEAVEN D, GANDIN L, IREBELL M, SAHA S, WHITE G, WOOLLEN J, ZHU Y, LEETMAA A, REYNOLDS R, CHELLIAH M, EBISUZAKI W, HUGGINS W, JANOWIAK J, MO KC, ROPELEWSKI C, WANG J, JENNE R, JOSEPH D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.

MAHERAS P, PATRIKAS I, KARACOSTAS TH, ANAGNOSTOPOULOU CH. 2000. Automatic classification of circulation types in Greece: Methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 67, 205-223.

MAHERAS P., 2002. Simulation des pluies annuelles et saisonnières en Grèce par une approche des types de circulation. *BAGF-GEOGRAPHIES-2002-2*, 474-485

PALUTIKOF, J.P., WINCKLERN, J.A., GOODESS, C.M., ANDERSEN, J.A., 1997. The simulation of daily temperature time series from GCM output. Part I: Comparison of model data with observations. *Journal of climate*, 10, 2497-2513

# LES PRINTEMPS PLUVIEUX DES ANNEES 1980 : RETOUR SUR UNE PARTICULARITE METEOROLOGIQUE ET CLIMATIQUE DE LA FIN DU VINGTIEME SIECLE EN EUROPE OCCIDENTALE

O. PLANCHON

*COSTEL LETG, UMR 6554 / FR 2116 CAREN-CNRS, Université Rennes-2,  
Place Recteur H. Le Moal, F-35043 Rennes-Cedex.*

*e-mail : [olivier.planchon@uhb.fr](mailto:olivier.planchon@uhb.fr)*

## Résumé

Le mois de mai a été anormalement arrosé en Europe occidentale durant la période 1979-1988. Cette anomalie a été cartographiée et analysée après identification des situations météorologiques susceptibles d'avoir provoqué des précipitations abondantes durant la période 1979-1988. Les résultats reflètent bien la persistance de certaines trajectoires de perturbations pendant les mois de mai étudiés.

**Mots-clés :** Anomalies pluviométriques, situations météorologiques, Europe occidentale.

## Abstract

Rainy months of May were observed in Western Europe during the period 1979-1988. The mapping and the analyse of this anomaly were performed, allowing for the identification of the meteorological situations, which caused heavy precipitation during the period 1979-1988. The results clearly showed the persistence of some disturbances tracks during the studied months of May.

**Key-words :** Precipitation anomalies, Meteorological situations, Western Europe.

## Introduction

De 1979 à 1988, une grande partie de l'Europe occidentale a connu une succession de mois de mai anormalement arrosés, si bien que ce mois est devenu le plus arrosé de l'année, pour la normale climatique 1961-1990, dans une grande partie du centre et de l'Est de la France (Planchon, 1992), et a suscité aussi des interrogations et des analyses dans l'ouest du pays (Mounier *et al.*, 1998). Cette pluviométrie printanière excédentaire a parfois provoqué la crue de certains cours d'eau, par exemple dans l'Est de la France en 1983 (Paul et Roussel, 1985), alors que les précipitations n'ont généralement pas augmenté en l'Europe Centrale et Orientale durant la même période. Dans le cadre du GDR 2663 RICLIM (*Risques liés au climat*), l'intensité et l'extension spatiale des anomalies pluviométriques ont été analysées, en fonction des situations météorologiques concernées, durant l'ensemble de la période 1961-1990 en Europe de l'Ouest et du Centre-Ouest.

## 1. Données et méthodes

Mis à part le sud-est de la France, l'Europe de l'Ouest et du Centre-Ouest (figure 1) est habituellement soumise toute l'année aux circulations perturbées d'origine atlantique. Les précipitations mensuelles ont été obtenues pour 318 stations, par le fichier GHCN (CDIAC / ORNL et NCDC) et par les instituts météorologiques de plusieurs des pays concernés (Allemagne, Belgique, France, Italie, Suisse, Rep. Tchèque). Les anomalies ont été standardisées et analysées, d'une part pour les mois de mai de la période 1979-1988, d'autre part pour les mois de mai durant lesquels les situations météorologiques concernées ont été dominantes.

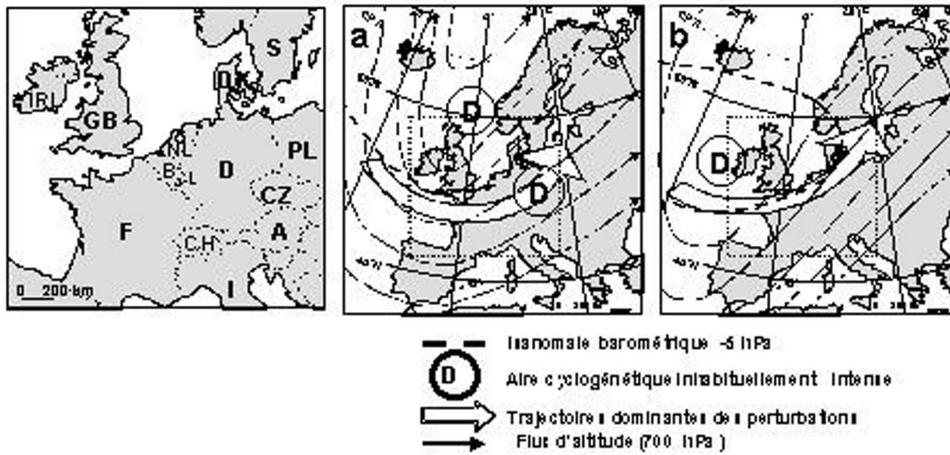


Figure 1 : Présentation de l'espace étudié : les stations météorologiques utilisées sont situées dans les pays dont les initiales sont mentionnées.

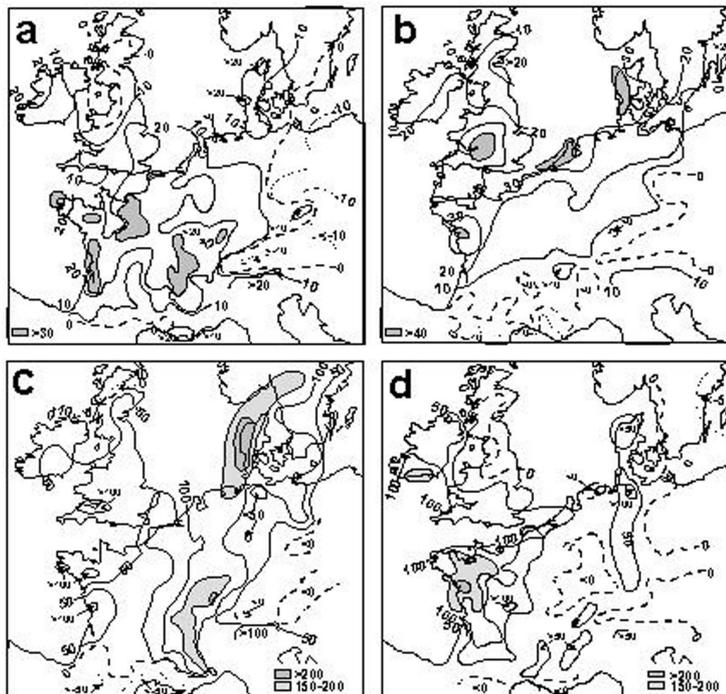


Figure 2 : situations météorologiques à « vallée froide » axée entre 0 et 15°E (a) et à l'ouest du méridien origine (b). D'après V. Moron, 1990. L'espace étudié est délimité en petits tirets

Figure 3 : Anomalies pluviométriques (exprimées en pourcentages) en Europe occidentale en mai : a) mai 1979-1988 par rapport à mai 1961-1990 ; b) mois de mai à occurrence de situations VF supérieure à la moyenne par rapport à mai 1961-1990 ; c) mai 1983 par rapport à mai 1961-1990 ; d) mai 1981 par rapport à mai 1961-1990.

Durant les années 1979 à 1988, les mois de mai ont fréquemment été affectés par des situations pluvieuses à « vallée froide » d'altitude (*Talweg*) orientées entre 0 et 15°E ou à l'ouest de 0° (types « VF1 » et « VF2 » : Moron, 1990). À ces vallées froides étaient associées, selon la position du talweg, des anomalies barométriques négatives sur le proche Atlantique (VF2), la mer du Nord et/ou l'Europe centrale (VF1). Deux types de situations météorologiques ont ainsi été identifiées par V. Moron au moyen de données et de cartes mensuelles du champ de pression et de la circulation en surface et en altitude (figure 2). L'objectif de ce travail a été de vérifier si les mois de mai anormalement arrosés en Europe occidentale ont également été caractérisés par une fréquence d'apparition inhabituellement élevée de ces types de situations et si une différence d'extension spatiale des anomalies pluviométriques peut être dégagée selon l'un ou l'autre des deux types de situations. Les journées à vallée froide d'altitude (notées VF dans ce texte) répondant aux types définis par V. Moron ont été identifiées et répertoriées pour tous les mois de mai de 1961 à 1990 (BHER de Météo-France et réanalyses NCEP archivées par <http://www.wetterzentrale.de/>), afin d'en calculer la fréquence d'apparition. En raison de la diversité des configurations, les deux types ont, dans un premier temps, été confondus dans les analyses.

## 2. Résultats

La cartographie des anomalies pluviométriques illustre les effets de la persistance des trajectoires préférentielles des systèmes perturbés associés aux situations VF (figure 3).

Les anomalies ont été positives sur la quasi totalité de l'espace étudié, à l'exception du nord de la Grande-Bretagne, de l'extrême sud de la France et du versant nord des Alpes (effet d'abri orographique). Les anomalies les plus fortement positives de la période 1979-1988 ont été observées en France (figure 3a) : Bretagne, bordure du golfe de Gascogne, Ouest du bassin Parisien, Alsace et centre-est de la France. Avec les anomalies calculées pour les mois de mai à occurrence de situations VF supérieure à la moyenne (figure 3b), les écarts à la normale les plus accentués suivaient un axe SW-NE, de l'Ouest de la France au Jutland, en passant par le Sud de l'Angleterre et la Hollande. Cette configuration traduit les effets combinés des trajectoires perturbées liées aux situations VF1 et VF2. Les mois de mai 1981 et 1983 ont été remarquables par leurs excès pluviométriques. L'occurrence des journées à situation VF a été la plus importante en mai 1983 (23 jours). Les plus forts écarts à la normale suivaient un axe qui s'étendait des Alpes occidentales au Jutland et à la Suède (figure 3c). En 1981, les régions de l'Ouest de la France ont subi les plus forts écarts, tandis que les régions de l'Est ont eu des anomalies négatives (figure 3d). Les anomalies pluviométriques de mai 1983 sont à relier à la persistance de situations de type VF1, qui permettent une large pénétration des systèmes perturbés en Europe ; celles de mai 1981 à des situations de type VF2. Durant les cas VF2, des hautes pressions de surface sur l'Europe du Nord et/ou Centrale contribuaient parfois à empêcher la progression des perturbations vers l'est, ce qui explique les anomalies négatives dans l'Est de la France. En 1983, 3 jours seulement ont été marqués par une situation VF accompagnée de hautes pressions sur l'Europe (13 % des journées VF), tandis qu'en 1981, 10 jours de ce type ont été observés (52,6 % des journées VF du mois). Les mois de mai à situations VF dominantes n'ont donc pas toujours été anormalement pluvieux sur l'Est de la France. Rennes et Strasbourg ont enregistré des écarts à la normale 1961-1990 équivalents durant les mois de mai 1979-1988 (respectivement 34,5 et 35,6 %). Les corrélations sont significatives à 2 % de marge d'erreur (test de Bravais-Pearson) entre les anomalies pluviométriques des mois de mai 1961 à 1990 et les anomalies de fréquence des situations VF durant les mois de mai de la même période, mais la corrélation est meilleure à Rennes (0,67) qu'à Strasbourg (0,54).

## Conclusion

Les anomalies pluviométriques des mois de mai 1979 à 1988 ont été cartographiées et analysées après identification de situations pluvieuses à vallée froide d'altitude pour l'ensemble des mois de

mai de 1961 à 1990. La distribution spatiale des anomalies reflète bien la persistance de certaines trajectoires de perturbations et les nuances liées aux deux types de situations analysées.

### **Bibliographie**

MORON, V., 1990 : *Contribution à l'étude de la variabilité climatique mensuelle en Europe*. Mémoire de D.E.A. (non publié), Université de Bourgogne, Dijon, 75 p.

MOUNIER J., DUBREUIL V., LEJEUNE C., 1998 : Variabilité interannuelle et variations actuelles du climat dans le domaine océanique. *Memorie della societa geografica italiana. LV, Studi in onore di Mario Pinna*, 121-131.

PAUL, P., ROUSSEL, I., 1985 : Les précipitations exceptionnelles d'avril et mai 1983 à l'origine des fortes crues en Alsace et en Lorraine. *Moselle*, 3-29.

PLANCHON, O., 1992 : *Contribution à l'étude du contact climatique océanique / continental en Europe du centre-ouest : l'exemple des régimes pluviométriques (1961-1990)*. Mémoire de D.E.A. (non publié), Université de Bourgogne, Dijon, 53 p.

# LES PARTICULARITÉS DE L'HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR DANS LE SUD ET SUD-EST DE LA ROUMANIE

## I. VĂDUVA

*Faculté de Géographie, Université Spiru Haret,  
13, Ion Ghica rue, Bucharest, Roumanie  
[iulicavaduva@yahoo.com](mailto:iulicavaduva@yahoo.com)*

### Résumé

L'advection des masses d'air humide de l'Océan Atlantique, la Mer Noire et la Mer Méditerranée a comme résultat le transport d'une grande quantité des vapeurs d'eau au-dessus du territoire de la Roumanie. L'humidité relative moyenne varie entre 74% à Ramnicu-Sarat et 85% à Sf. Gheorghe.

**Mots clés:** humidité relative, vapeurs d'eau, effets type foehn, la Plaine Roumaine.

### Abstract

The advection of moist air masses from the Atlantic Ocean, the Black Sea, and the Mediterranean Sea brings to a high quantity of water vapour above Romania. The average relative humidity varies between 74 per cent at Ramnicu Sarat and 85 per cent at Sf. Gheorghe.

**Key words:** relative humidity, water vapour, foehn type, Romany

### Introduction

L'advection des masses d'air humide de l'Océan Atlantique, la Mer Noire et la Mer Méditerranée a comme résultat le transport d'une grande quantité de vapeur d'eau au-dessus du territoire de la Roumanie (Dumitrescu, 1976). Les courants d'air humide provenant de l'Océan Atlantique pénètrent par le nord-ouest du territoire roumain, ceux de la Mer Noire par le sud-est et ceux de la Mer Méditerranée influencent une aire étroite, sur le littoral de la Mer Noire. *L'évaporation de l'eau* des lacs, rivières, le Danube, le Canal Danube-Mer Noire et les *processus d'évaporation* aussi ont une contribution locale à l'humectation de l'air (Vaduva, 2004).

### 1. Méthodes

Dans cet article, on a analysé l'humidité relative de l'air aux 30 stations météorologiques situées au sud et sud-est de la Roumanie. En utilisant les données et observation effectuées à ces stations pendant 40 ans (1961-2000), on a analysé les paramètres suivants de l'humidité relative de l'air: la moyenne annuelle, la moyenne des mois caractéristiques (décembre et juillet) et aussi l'amplitude des oscillations annuelles.

### 2. Résultats

L'humidité relative moyenne annuelle varie entre 74% à Ramnicu-Sarat (à cause des mouvements ascendants de type foehn qui ont comme résultat l'échauffement de l'air et la réduction de l'humidité relative) et 85% à Sf. Gheorghe (à cause de l'apport permanente de vapeur d'eau de la Mer Noire et de l'espace du delta).

Dans le **Plateau de Dobroudja**, les moyennes annuelles de l'humidité relative diminuent au fur et à mesure que la distance jusqu'au bord de la mer augmente, atteignant 79% à Medgidia et 78% à Adamclisi (Vaduva, 2004) (*fig. 1*).

**Près du Danube**, l'humidité relative varie entre 74% (Drobeta Turnu-Severin) et 80% (Giurgiu) (*fig. 2*).

**Dans les Souscarpates**, les valeurs de l'humidité relative varient du 75% à Tg.-Jiu jusqu'à 81% à Apa Neagra, parce que dans les régions avec des processus de foehn, l'humidité relative atteint les plus basses valeurs à cause des processus adiabatiques spécifiques pour la subsidence de l'air.

L'humidité relative a des valeurs annuelles basses dans l'est et sud de la Roumanie aussi (le sud et sud-est de la Moldavie, l'est et le centre de la Plaine Roumaine), donc à l'extérieur des Carpates, où l'advection de l'air continental avec une humidité plus bas est prédominante. Dans la **Plaine Roumaine**, l'humidité relative moyenne annuelle ne dépasse pas 80%.

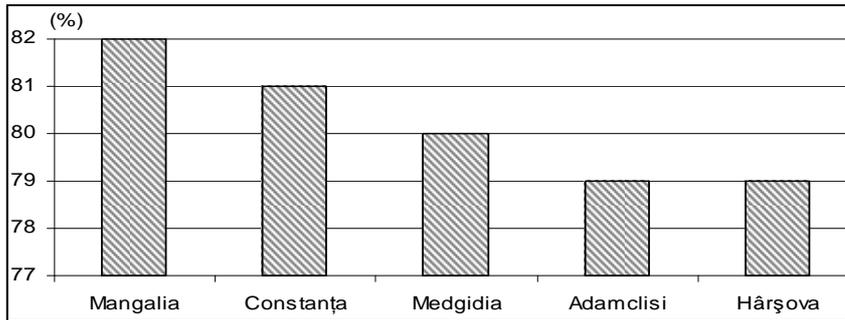


Fig. 1 La variation de d'humidité relative avec l'éloignement du bord de la mer

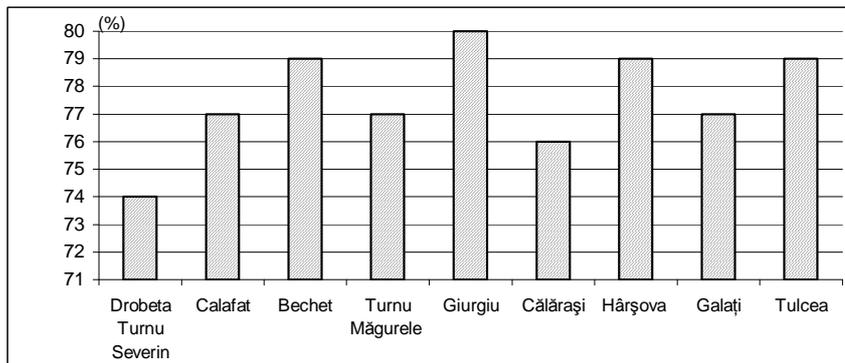


Fig. 2 La variation de l'humidité relative le long du Danube

### La répartition des valeurs moyennes de l'humidité relative aux mois de décembre et juillet

Les valeurs les plus élevées de l'humidité relative sont enregistrées pendant l'hiver, atteignant le maximum en décembre (fig. 3) à cause des *perturbations* méditerranéens qui sont fréquents pendant ce mois et qui transportent de l'air chaud et humide ; les plus basses valeurs caractérisent les mois d'été (fig. 4) et atteignent leur minimum en juillet ou août, quand les valeurs d'insolation sont maximales..

*Au mois de décembre*, au-dessus de la Plaine Roumaine, les masses d'air froid et dense sont plus fréquentes. Le refroidissement radiatif de l'air pendant la nuit et la présence d'inversions thermiques dans la Plaine Roumaine a comme résultat des valeurs supérieures à 85% (Craiova 90%, Giurgiu 91%, Targoviste, Bucuresti Filaret, Bucuresti Baneasa 88%), presque les mêmes que pour l'ouest du pays (Timisoara, Satu Mare, 87%, Arad 90%) (Fig. 5). Les plus basses valeurs moyennes de l'humidité relative en décembre sont mesurées dans les régions situées à l'abri des Souscarpates (Tulnici 77%). Sur le littoral de la Mer Noire, l'humidité relative varie entre 86 et 90%, semblable au sud et à l'ouest de la Roumanie (plus de 85%).

*Au mois de juillet*, les valeurs les plus élevées sont mesurées dans la Plaine Roumaine (Craiova, 71%; Caracal, Buzău, 70%; Alexandria, Turnu-Măgurele, 68%; București Filaret, București Băneasa, 69%), où elles diminuent jusqu'à 65% à Rosiori de Vede (fig. 5). Pour les stations situées au long du Danube, la présence des sources permanentes d'évaporation détermine des valeurs plus élevées de l'humidité relative (Giurgiu 72%) en comparaison avec la Plaine Roumaine.

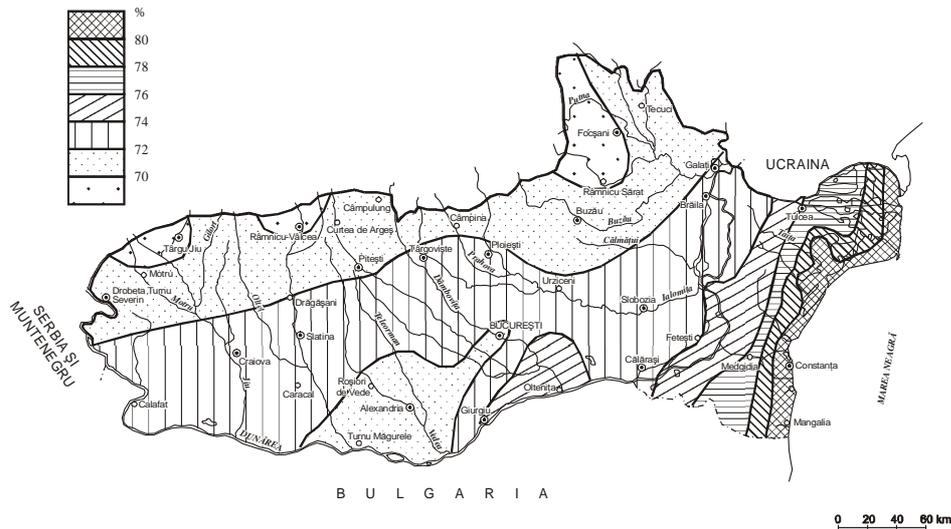


Fig. 3 La répartition des valeurs moyennes multi annuelles de l'humidité relative de l'air en avril

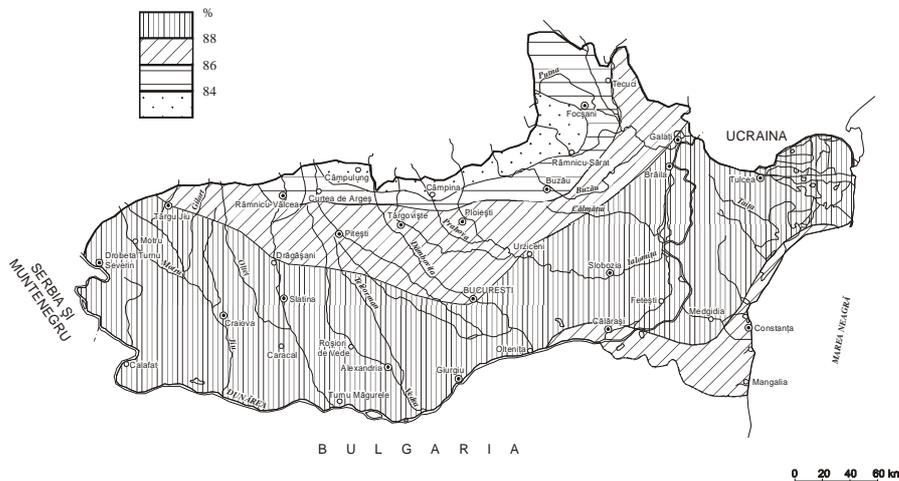


Fig. 4 La répartition des valeurs moyennes multi annuelles de l'humidité relative de l'air en décembre

### L'amplitude des oscillations annuelles de l'humidité relative

Les plus fortes l'amplitude de l'humidité relative sont enregistrées à Rosiori de Vede (25%) dans la Plaine Roumaine, et les plus faibles sur le littoral de la Mer Noire (Mangalia 8%).

### Conclusions

En comparaison avec les principaux ouvrages de référence, les déterminations pendant la période 1961-2000 ont relevé pour la part centrale de la Plaine Roumaine et le littoral sudique de la Mer Noire des valeurs plus grandes et, respectivement, plus bas de l'humidité relative multi annuelle en comparaison avec ceux présentées dans L'Atlas de la République Socialiste Roumaine (1972-1979) qui ont considérée une période de 7 décennies. Ainsi, on a montré que le littoral présente une humidité inférieure à 3% de la valeur connue (à cause du fait qu'il fait 0,3°C plus chaud en

comparaison avec la période 1972-1979) (Vaduva, 2004), et la partie centrale de la Plaine Roumaine une humidité plus grande (de 2 à 6%).

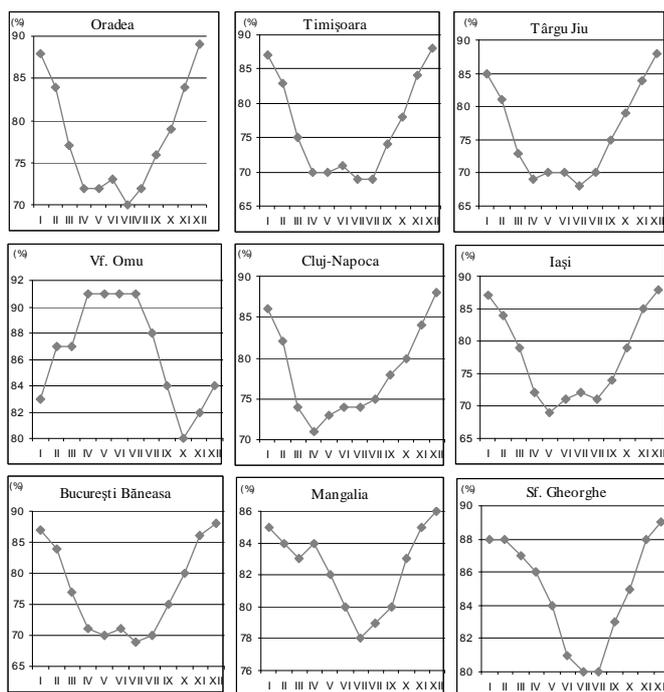


Fig. 5 Le régime annuel de l'humidité relative de l'air

## Bibliographie

DUMITRESCU E. 1976: *Curs de climatologia RSR*, Ed. Universității București, 629p

VADUVA I. 2004: *Clima României – Note de curs*, Ed. Universitară, București, 175p

\*\*\*(1972-1979): *Atlasul geografic al R.S.R.*, Ed. Academiei Române, București

\*\*\*(1983), *Geografia României, I, Geografia Fizică*, Ed. Academiei Române, Cap. Clima, pp. 195-292, sc. 1: 200 000, București.

## LA TORNADE DU 13 NOVEMBRE 2004 SUR LE CAP BON EN TUNISIE

H. BEN BOUBAKER \* et L. HENIA\*\*

\*Université de la Manouba

\*\*Université de Tunis Courriel : [hboubaker@yahoo.fr](mailto:hboubaker@yahoo.fr)

### Résumé

Une tornade, phénomène extrême, inhabituel sur la Tunisie, vient d'affecter la péninsule du Cap Bon et y causer des dégâts matériels et humains importants. Nous essayons surtout d'élucider la conjonction aléatoire, donc exceptionnelle, des facteurs qui ont initié ce phénomène extrême.

**Mots clés :** Tunisie, climat, risque, tornade.

### Abstract

A tornado, an extreme and exceptional phenomenon in Tunisia has affected the peninsula of Cap-Bon. It has done many severe human and material damages. In this paper, we'll try to explain the hazardous and exceptional conjunction of factors that have initiated this phenomenon.

**Key words :** Tunisia, climate, risk, tornado

### Introduction

L'après-midi du 13 novembre 2004, la péninsule du Cap-Bon a été affectée par un phénomène extrême d'une rareté exceptionnelle sur la Tunisie: il s'agit d'une tornade qui a été à l'origine de dégâts matériels et humains importants



Figure n°1 : Une vue de la tornade, le 13 novembre 1994, à 15h45' (heure locale) à Kélibia.

Une tornade est une perturbation atmosphérique tourbillonnaire intense qui se manifeste par un cône nuageux en forme d'entonnoir surmonté par un cumulo-nimbus, sa base nuageuse contient des poussières et des débris arrachés au sol. Sa couleur est plus ou moins sombre selon la nature de son contenu en poussière et en débris (Beltrando et Chémery, 1995). Ce type de tourbillon se caractérise par des dimensions et une durée de vie limitées, mais il compte parmi les phénomènes les plus destructeurs. Il est accompagné par des vents violents et des pluies. La force du vent et son frottement à la surface du sol provoquent un bruit assourdissant. Ce phénomène est jusqu'à aujourd'hui inconnu en Tunisie. Nous n'en avons trouvé aucune trace, ni dans les archives historiques, ni dans les séries de l'observation météorologique. L'emprise importante de l'anticyclone saharien et de l'air tropical en altitude au niveau de la Tunisie y est sans doute pour quelque chose.

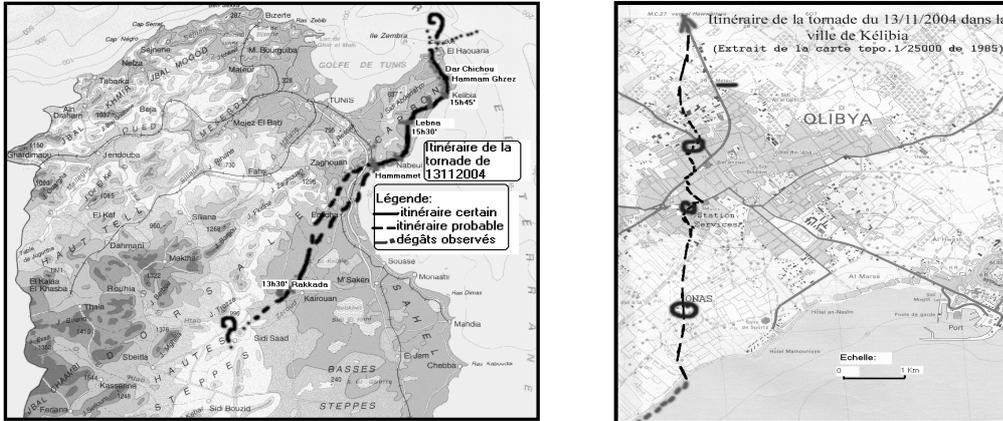
Des témoignages oraux mentionnent cependant que des cônes nuageux de petite taille se produisent très rarement sur les eaux du golfe de Hammamet et peuvent être visibles depuis la côte. Le 13 novembre 2004, un tel phénomène s'est produit, une tornade en bel uniforme que nous nous proposons d'étudier.

Notre objectif est d'élucider la conjonction aléatoire, donc exceptionnelle, des facteurs qui ont initié ce phénomène extrême. Pour ce faire, nous aurons recours aux cartes de temps, aux radiosondages, aux images satellites, aux données observées et mesurées.

## 1. Trajectoire et intensité

### 1.1. Trajectoire

Figure 2.a , b : Trajectoire de la tornade du 13 novembre 2004



La première localité où elle a été signalée est *Rakkada*, vers 12h50 TU (fig. n°2). La tornade semble avoir traversé ensuite la région de *Zaghouan* qui a connu des vents forts et des pluies intenses. Elle s'est dirigée ensuite vers Hammamet (vers 14 h TU) où elle s'est renforcée nettement et balaye ensuite la plage de Nabeul. Elle longe le versant est de *Dj. Abderrahmenen* en passant par *Béni Khalled* et le village de *Lebna* vers 14h30 et arrive à *Kélibia* à 14h45 TU. *Kélibia* a été la seule ville entièrement traversée par la tornade qui l'a prise en écharpe du SSE au NNO, ce qui explique l'ampleur des dégâts matériels et humains qui l'ont touchée.

La tornade traverse ensuite la forêt de *Dar Chichou* du sud-ouest vers le nord-est, où elle balaye les arbres sur un couloir long d'environ 4 km et large de 30 à 50 mètres. Elle poursuit son chemin vers le nord-est où elle semble diminuer d'intensité et passe à la mer après son passage sur la plaine d'*El Haouria* (fig.2).

La tornade s'est déplacée donc selon une trajectoire orientée sud-ouest, nord-est en suivant des passages préférentiels: (la frange côtière, la forêt) et en évitant les obstacles topographiques. La durée totale de cette perturbation est de l'ordre de deux heures aux cours desquelles elle a parcouru une distance totale (entre *Rakkada* et *el Haouaria*) d'environ 160 km mais, elle n'a duré que 5 mn sur *Hammamet* et 12 mn sur *Kélibia*.

### 1.2. Intensité

D'après l'échelle de *Fujita*, composée de six niveaux d'intensité (de F0, tornade faible à F5, tornade violente), cette tornade est de type F2 à F3, c'est à dire importante à sévère. Pour le niveau (F2) la vitesse du vent est de 180 à 250 km/h et comme spécification, on note des toitures soulevées, des objets légers transformés en projectiles et des structures légères brisées. Pour le niveau (F3), la vitesse du vent est de 260 à 330 km/h, avec des murs renversés, des arbres cassés dans la forêt et des projectiles de grandes dimensions.

Les régions limitrophes du *Cap Bon* ont connu des vents forts et des pluies importantes causant le débordement de certains oueds comme l'*oued Beni Darraj* dans la région de *Zaghouan*. La ville de Tunis a reçu de fortes chutes de pluie qui ont bloqué la circulation dans plus d'une artère névralgique du trafic automobile. *Grombalia* et *Bou Argoub* ont connu aussi des vents forts et de

fortes pluies. En plus de ces dégâts matériels, la tornade a causé la blessure de 70 personnes et la mort de 9 autres, dont 3 victimes de l'éjection de leur véhicule de la route sous l'effet du tourbillon.

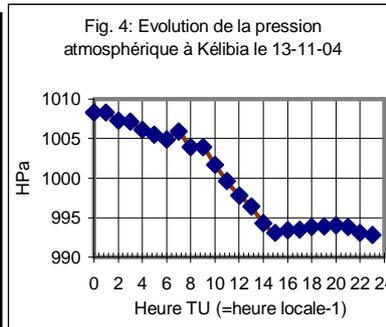
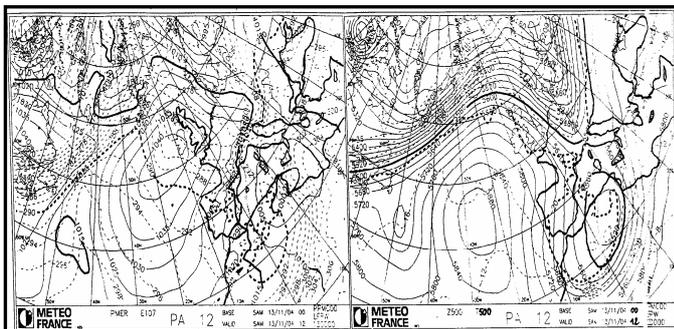
Tableau n°1: Dégâts matériels causés par la tornade du 13 /11/2004 en Tunisie

| Ville                        | Dégâts  | Ville              | Dégâts   |
|------------------------------|---|--------------------|--|
| <b>Rakkada</b><br>(Kairouan) | 21 personnes ont été blessées. Des toitures de maisons et de boutiques arrachées. Des fenêtres en fer forgé et des véhicules endommagés. Des arbres géants ont été déracinés.   | <b>Lebna</b>       | - Habitations endommagées ; Arbres arrachés, clôtures brisées, serres et cultures endommagées ; Poteaux électriques de haute et de moyenne tension entièrement tordus, à terre.  |
| <b>Hammamet</b>              | - Une salle de sport couverte s'est effondrée.<br>- Des plaques de tôles transformées en projectiles.<br>- Le mur constituant la barrière du stade de football s'est écroulé.<br>- Des véhicules endommagés.<br>- Des vitres brisées, des poteaux électriques arrachés.<br>- Des arbres arrachés et des débris projetés jusqu'à la corniche               | <b>Kélibia</b>     | Toits de maison arrachés. Des devantures de certains commerces et des maisons endommagées (16 maisons 10 boutiques).<br>- Plus de 25 véhicules et camions légers sérieusement endommagés. De nombreuses voitures déplacées et sérieusement cabossés<br>- Des oliviers, des arbres fruitiers et des cultures potagères déracinées. Des arbres géants déracinés. |
| <b>Nabeul</b>                | - L'invasion de la mer a entraîné le glissement de deux courts de Tennis du club de Nabeul.<br>- L'invasion marine a provoqué la destruction du collecteur des égouts de 4 hôtels.<br>- La plage autrefois spacieuse, s'est rétrécie, voire a disparu par endroits à l'occasion de la marée haute et le tennis club de Nabeul a perdu son estran sableux. | <b>Dar Chichou</b> | 6900 arbres de la forêt arrachés ou déchiquetés, le long d'un tronçon large de 30m et long d'environ 4 km, traversant la forêt de SW/NE.   |
| <b>Beni Kaled</b>            | - Poteaux électriques, panneaux publicitaires, arrachés des marchandises transportées.<br>- Les vergers d'agrumes largement endommagés/ Des arbres arrachés/ La récolte est en plus endommagée par la grêle.  |                    |  |

## La situation atmosphérique

### 2.1. Au sol

Figure 3: Situation au sol et à la surface 500 HPa du 13-11-04 à 12h TU



- le 13 / 11/ 04 à 00 h. TU : La Tunisie se trouve englobée dans une aire de basse pression s'étendant du Sahara jusqu'au nord de l'Italie. Le cœur de cette dépression (1005 hPa) touche le sud du pays. De l'air chaud saharien progresse vers le nord au sein de cette dépression (Kélibia à 14h : à 20,6°C).

Une autre zone de basse pression froide cette fois, se prolonge du nord de l'Atlantique en direction de la basse pression saharienne. Les deux basses pressions ne sont séparées que par une dorsale très étroite reliant l'anticyclone des Açores à l'anticyclone sibérien, empêchant la progression de l'air saharien vers le nord et de l'air froid vers le sud.

- **à 12 h** : La dorsale entre les deux zones de basse pression est rompue. Le noyau de dépression chaude s'est décalé vers le nord (fig. 3). A 12 h TU, il se resserre (999,6 hPa à 12 h à *Kélibia*) (fig.4) et s'étend en écharpe de la Tunisie centrale au Cap Bon, débordant sur le large du golfe de *Hammamet*. Autour de ce petit noyau de basse pression s'enroule l'air froid venant du nord et l'air saharien venant du sud.

- **entre 12 h et 16 h** : Le noyau de basse pression se décale vers le nord-est, l'isobare 995 hPa cerne le secteur s'étendant du sud-ouest de *Kairouan* au sud de l'Italie en passant par le Cap Bon. Le cœur minuscule de ce noyau dépressionnaire englobe juste le Cap Bon et le sud du golfe de Tunis (993,1 hPa à *Kélibia*).

### 2.2. La situation en altitude le 13/11/04 :

- **A 00 h.**, la situation se caractérise par une vallée froide dirigée du nord de l'Europe vers le Sahara. Au fond de cette vallée se détache une goutte d'air froid décelable sur les cartes des surfaces 850, 700 et 500 hPa. Le minimum froid en altitude se décale ensuite vers le nord-est.

- **Sur les cartes de 12 h**, il est au niveau de la Tunisie. L'après-midi, le noyau de ce minimum froid en altitude se resserre et devient centré sur le Cap Bon. Le niveau de la surface 500 hPa y est inférieur à **5420m**. Il surmonte de ce fait le cœur de la dépression au sol.

12 heures plus tard (14/11/04 à 00h), la position de la péninsule du Cap-Bon au cœur du noyau dépressionnaire est encore plus manifeste

### 2.3. L'organisation de la circulation :

Le noyau de basse pression très creux centré au sol sur le Cap Bon attire d'un côté l'air saharien très chaud venant du sud et l'air froid venant du nord. Les deux masses d'air sont fortement chargées en vapeur d'eau (passage de l'air saharien sur le golfe de Hammamet et de l'air froid sur la Méditerranée). L'air chaud et l'air froid s'enroulent autour du noyau de basse pression dans un mouvement ascendant qui se trouve exacerbé par le minimum froid en altitude surmontant presque exactement le cœur de la dépression au sol au niveau du Cap Bon. Le soulèvement brutal de l'air humide provoque son refroidissement. La vapeur d'eau qu'il contient se condense et le tourbillon nuageux se forme. La baisse de la pression au sein du minimum au sol et le mouvement ascendant de l'air très marqué génère les vents très forts.

Cette tornade s'est formée donc dans au niveau d'une petite dépression barométrique très creuse centrée sur le Cap Bon et autour de laquelle les vents tournent en s'élevant brutalement, aspirés par la basse pression en altitude. Le contraste très marqué entre l'air chaud et humide des basses couches et l'air très froid en altitude a exacerbé le mouvement d'ascendance.

### **Conclusion**

D'après l'OMM (2003), on assiste partout dans le monde à une augmentation de l'intensité et de la fréquence des phénomènes atmosphériques extrêmes. Selon les dernières évaluations scientifiques, ceci pourrait être dû à l'élévation générale des températures. Assiste-t-on aussi en plus à l'avènement de ces phénomènes classiques en dehors de leurs aires habituelles. La chaleur record enregistrée en Europe océanique au cours de l'été 2003 est un exemple qui illustre cette tendance. Le phénomène traité dans cette étude en est un autre exemple. En effet, la Tunisie vient d'être affectée par un phénomène inconnu jusqu'ici.

### **Bibliographie**

BELTRANDO G. ET CHEMERY L. (1995) : Dictionnaire du climat. Edition Larousse, 344p.

MELKI T. (1997) : Les masses d'air sur la Tunisie. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, FSHS Tunis, 320p.

OMM, (2-7-2003) : Communiqué de presse n° 695 : « les phénomènes météorologiques extrêmes pourraient augmenter de fréquence et d'intensité ».

OMM, (16-12-2004) : Communiqué de presse n° 702 : « Déclaration sur l'état du climat mondial en 2003 : 2003 au 3<sup>ème</sup> rang des années les plus chaudes ».

## **UNE NOUVELLE PROPOSITION QUANTITATIVE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DANS LE TERRITOIRE DE L'ITALIE: PREMIERS RESULTATS**

**M. FAZZINI\* et A. GIUFFRIDA\*\***

*\*Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Ferrara, Ferrara, Italie – C.so Ercole I°d'Este, 32 – 44100  
Ferrara, Italie*

*\*\* CNMCA - Servizio Meteorologico dell' Aeronautica Militare – Aeroporto M.De Bernardi – Pratica di Mare (Roma)  
- Italie*

**Mots clé :** Italie, régimes pluviométriques, continentale, intermédiaire, méditerranéen

### **Introduction**

A partir de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, plusieurs climatologues italiens et européens ont cherché de formuler des propositions relatives aux différents régimes pluviométriques du territoire de l'Italie. Le problème a été toujours de grande importance et difficile à comprendre, à cause des remarquables différenciations synoptiques, géographiques et orographiques qui caractérisent la péninsule et les îles de ce vaste territoire.

Actuellement on peut disposer de nombreuses classifications des différents types pluviométriques, pour la plus part très bien organisées, mais qui présentent très souvent le problème d'être seulement de type descriptif ou dans quelque cas, semi quantitatif.

Plus en particulier, en les analysant avec beaucoup de détail, on a remarqué que les propositions de type semi-quantitatif de PINNA & VITTORINI (1985) et de MOISELLO (1999), représentent aujourd'hui l'état de l'art. La première tentative de classification des régimes, de type totalement quantitatif, à l'intérieur du territoire italien, a été produite par FAZZINI (2005), pour les reliefs du Triveneto (Alpes Orientales).

Dans cette recherche, on a cherché d'éliminer ce problème grâce à l'utilisation de données de qualité absolument excellente, et appartenants au réseau des stations du Servizio Meteorologico dell' Aeronautica Militare et du Servizio Idrografico Italiano ; ces derniers sélectionnés pour le projet BIM (Bulletin Hydrométéorologique Italien). Au même temps, pour chercher de « quantifier » les différences entre les types climatiques supposés, on a introduit quelques « filtres » mathématiques qui décrivent les rapport entre les précipitations moyennes annuelles, des différentes saisons et des différents mois.

### **Analyse des données**

On a donc utilisé les données journaliers de presque 700 stations manuelles et automatiques, assez uniformément distribuées dans le territoire italien, pour la période 1961-1990 – comme recommandé par l'OMM - les altitudes des stations sont comprises entre -1 mètre sous le niveau de la mer à Idrovora de Sadocca (delta du Pô) et 2600 mètres environ à Diga de Careser (Trentino). Après avoir homogénéisé les données on a décidé de choisir les filtres suivants :

Précipitations moyennes annuelles supérieures à 1000-1200 mm, comprise entre 600 et 1000-1200 mm et inférieures à 600 mm - afin de caractériser les aires « pluvieuses » du secteur centro-septentrionale et meridionale-insulaire, celles plus ou moins « humides » et celles « arides » ou « semi-arides ».

Rapports entre les apports météoriques - standardisés et relatifs aux différentes saisons, et en particulier à ceux entre la saison plus humide et plus sèche - Selon ce dernier rapport, on a identifié les aires caractérisées de forte saisonnalité pluviométrique – comme par exemple celles fortement méditerranéennes ou continentales – ou ce quotient est supérieur à 4 - de celles où les apports sont équilibrés – par exemple en les Pre-Alps orientales ou en la plaine du Pô - ou ce quotient est

inférieur à 2. En plus on a remarqué l'importance de la limite de 25 mm pour le mois le plus sec, afin de distinguer les zones résolument méditerranéennes. Ce valeur représente l'équivalent en degrés de la température moyenne durant le mois le plus sec (juillet), réduite au niveau de la mer pour l'Italie péninsulaire; de plus il démarque très bien les aires ou les caractéristiques fitoclimatiques sont fortement méditerranéennes.

Pourcentage des précipitation de la saison la plus sèche inférieure à 10% du total annuel, afin de définir les aires avec un climat continental, caractérisés par un seul minimum en hiver, ou méditerranéen, avec le minimum en été.

Enfin, on a considéré la répartition du maximum et du minimum mensuel et saisonnier pour distinguer les aires « continentales », « de transition » et « méditerranéen ».

De la combinaison des différentes situations climatiques mises en évidence par les « filtres » on a défini dix-neuf types pluviométrique qui décrivent, d'une manière très satisfaisante, la répartition des précipitations dans un territoire aussi complexe que l'Italie (tab 1).

Les types ont été groupés dans trois grands groupes :

boréals (avec le minimum absolu en hiver)

méditerranéens (avec le minimum absolu en été)

intermédiaires (avec caractéristiques de transitions entre les deux précédentes)

A l'intérieur de chaque groupe, on a donc défini quelques nouveaux types pluviométrique, donc les plus importants sont :

- De transition alpin, boréal, caractérisé par une grande uniformité des précipitations dans la période avril-novembre.

- Valdotain, intermédiaire, cas unique, dans le territoire à nord du fleuve Pô à présenter le minimum absolu en été et des précipitations très insuffisantes mais extrêmement bien distribuées durant tout l'an.

- Steppique, méditerranéen, relatif principalement aux zones méridionales et insulaires de la péninsule, où tombent moins de 600 mm par an.

A l'examen de la répartition des différents types pluviométriques sur le territoire, il est évident que le passage des climats continentaux aux climats méditerranéens arrive très graduellement; en effet la ligne de démarcation entre les premiers et les seconds suit assez fidèlement le cours du fleuve Pô, au dessous duquel la saison la plus sèche devient presque toujours l'été, sauf sur la côte adriatique jusqu'à la fermeture de la plaine padane (Rimini).

Au nord de cette ligne idéale, les précipitations sont généralement abondantes, avec une hausse des totaux annuels en procédant de la ligne principale des partages des eaux des Alpes vers les Pré-Alpes. On y passe d'un régime fortement continental - caractérisé par des hivers très secs et neigeux et des été orageux - à un régime bimodal avec les maximum de précipitations centrés dans les saisons intermédiaires (subcontinentale, pre-alpin et sub-alpin), en passant par un régime de transition ou le printemps, l'été et l'automne enregistrent des précipitations très similaires entre eux.

La plaine du Pô est caractérisée par des précipitations extrêmement bien distribuées durant l'an, avec un léger maximum en octobre et un faible minimum en janvier, les différences entre les quatre saisons ne sont pas remarquables. On observe la même répartition des précipitations dans la Vallée d'Aoste où les deux minimum en hiver et en été sont presque équivalents. Au sud de la Plaine du Pô, il est paradoxalement évident que la chaîne de l'Apennin ne détermine pas non plus des différences substantielles dans la distribution des pluies des aires collinaires et montagneuses des versants Adriatique et Tyrrhénien, les deux caractérisés d'un type sublittoral, bimodal, avec le maximum principal en automne et le secondaire au printemps (avril - mai); seulement à proximité de la côte tyrrhénienne, de la Ligurie jusqu'à la Calabre on passe à un type plus maritime (type tyrrhénien), avec les deux maximum concentrés en la période novembre-février et une saison estivale très sèche et chaude (modéré déficit d'eau). Dans les régions méridionales péninsulaires extrêmes et dans les grandes îles, le régime devient méditerranéen, avec une baisse très marquée des précipitations estivales - qui n'arrivent jamais au 10% du total annuel (déficit d'eau marqué). Par

contre la période novembre-mars est très pluvieuse, surtout dans les reliefs les plus importants (régime Apenninique méridional) ou sont très abondantes les précipitations neigeuses. Le régime de la Sardaigne se différencie de celui de la Calabre et de la Sicile seulement pour une locale hausse des précipitations en mars.

Dans 15% environ du territoire italien, les précipitations annuelles n'atteignent pas les 600 mm, le régime pluviométrique y a été défini comme "steppique", surtout parce que le minimum absolu de précipitations tombe pendant l'été, très chaud et avec des évidents problèmes de sécheresse (déficit très marqué). La zone caractérisée par ce type pluviométrique intéresse en particulier presque la moitié du territoire de l'Apulie, la côte adriatique de la Lucanie, la Calabre ionienne, une grande partie de la Sicile sud-orientale et de la Sardaigne méridionale (Campidano).

### **Conclusions**

Une formulation correcte d'un classement quantitatif de types pluviométriques dans un territoire complexe comme celui de l'Italie dépend, d'une manière déterminante, d'une recherche très approfondie des rapports existants entre les précipitations des différentes saisons. Le calcul de quelques filtres de type quantitative, correctement appliqués aux données, permet de souligner, avec une précision considérable, les corrects limites entre les types pluviométriques principales et d'évidencer, à l'intérieur de ces types prédominants, quelques situations typiques à la méso-échelle et aux échelles fines, afin de pouvoir les justifier plus facilement par rapport aux situations synoptiques mais aussi de l'orographie complexe qu'il les détermine.

### **Bibliographie**

- M. PINNA & S. VITTORINI (1985) – “Contributo alla determinazione dei regimi pluviometrici in Italia”. Mem.Soc.Geogr.Ital, Vol XXXIX, Contributi di climatologia a cura di Mario Pinna, 147-167.
- U. MOISELLO (1999) – “Idrologia Tecnica” -La Goliardica pavese ed, 118-122.
- M. FAZZINI (2005) – “Definizione quantitativa dei regimi pluviometrici nelle Alpi orientali italiane” – Geografia fisica Dinamica quaternaria – Volume speciale in onore di G.B.Castiglioni. 112-130

| TYPES  | MAX ABSOLU  | MAX SECONDAIRE | MAX SAISONNIER | H/S | PREC.AN   | NOTES                                |
|--|-------------|----------------|----------------|-----|-----------|--------------------------------------|
| <b>BOREALES (MINIMUM ABSOLU EN HIVER)</b>      |             |                |                |     |           |                                      |
| FORTEMENT CONTINENTALE - FC                    | ETE         |                | ETE            | >4  | <1000 mm  | HIV <10% TOT AN                      |
| CONTINENTALE - C                               | ETE         | AUT            | ETE            | <4  | >600 mm   | DIF AUT-PRI < 10%                    |
| SUBCONTINENTALE - SC                           | AUT         | ETE            | AUT-ETE        |     | >600 mm   | DIF AUT-ETE < 10%                    |
| DE TRANSITION ALPIN - T                        | ETE-AUT-PRI | PRI-AUT-ETE    | PRI-ETE-AUT    | <2  | >600 mm   | DIF PRI - SUM - AUT < 5%             |
| PREALPIN - PR                                  | PRI         | AUT            | PRI            |     | >1000 mm  | DIF PRI - AUT < 10%                  |
| SUBALPIN - SB                                  | AUT         | PRI            | AUT            |     | >1000 mm  | DIF AUT - PRI < 10%                  |
| SUBLITORANEEN "TRIDENTINO" - STR               | AUT         | ETE            | AUT            | <2  | <1000 mm  | MAX SEC EN JUIN                      |
| PADAN - P                                      | AUT         | ETE-PRI        | AUT-ETE        | <2  | <1200 mm  | DIF 4 SAISONS < 10%                  |
| <b>INTERMEDIAIRES (MINIMUM ABSOLU EN ETE)</b>  |             |                |                |     |           |                                      |
| VALDOTAIN - V                                  | AUT         |                |                | <2  | < 1000 mm | DIF 4 SAISONS < 10%                  |
| SUBLITTORAL - SL                               | AUT-HIV     | PRI            | AUT            | <2  | <1200 mm  | P MOIS LE PLUS SEC >25 mm            |
| APENNINIQUE SEPTENTRIONALE - AS                | AUT         | INV-PRI        | AUT            |     | >1200 mm  | DIF AUT-HIV <10%, P MOIS SEC > 25 mm |
| APENNINIQUE CENTRALE - AC                      | HIV-AUT     | AUT-INV        | AUT-HIV        |     | >1200 mm  | DIF HIV-AUT <10%, P MOIS SEC > 25 mm |
| <b>MEDITEERRANEENS (MINIMUM ABSOLU EN ETE)</b> |             |                |                |     |           |                                      |
| LIGURE   | AUT         |                | AUT            |     | <1200 mm  | P MOIS SEC < 25 mm                   |
| TYRRENIEN - SLT                                | AUT-HIV     | HIV-AUT        | AUT            |     | <1200 mm  | P MOIS SEC < 25 mm                   |
| SUBMEDITERRANEEN - SM                          | AUT-HIV     |                | AUT            |     | <1000 mm  | ETE <10% TOT AN                      |
| APENNINIQUE MERIDIONALE - AM                   | HIV-AUT     |                | HIV            |     | >1000 mm  | ETE <10% TOT AN                      |
| MEDITERRANEEN - M                              | HIV-AUT     |                | HIV            | >4  | <1000 mm  | ETE <10% TOT AN                      |
| STEPPIQUE - ST                                 | AUT-HIV     |                | AUT            |     | <600 mm   | P MOI LE PLUS HUMIDE <70 mm          |

Tab.1 – Types pluviométriques: H/S: rapport entre les précipitations normalisées de la saison la plus humides et celles de la plus sèche. DIF : différence ; HIV: hiver ; PRI: printemps, AUT : automne, MAX SEC :maximum secondaire

## EVALUATION DES PRECIPITATIONS PAR LA METHODE DES AIRES FRACTIONNELLES

O. RAAF\* et A. ADANE\*

*\*Laboratoire Traitement d'Images et Rayonnement, Département Télécommunications, Faculté d'Electronique et d'Informatique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, BP N° 32 El Alia, Bab Ezzouar, 16111 Alger, Algérie.  
[rf\\_ouarda@yahoo.fr](mailto:rf_ouarda@yahoo.fr) & [aadane@lycos.com](mailto:aadane@lycos.com)*

### Résumé

Ce papier porte sur l'analyse des surfaces des nuages en vue d'évaluer la quantité de précipitations dans une région donnée. La méthode utilisée est celle basée sur les aires fractionnelles. Elle revient à analyser la surface moyenne occupée par les échos radar pour différents seuils de détection des taux de pluie. Cette méthode a été appliquée aux images radar obtenues respectivement dans les régions de Bordeaux et de Sétif. La méthode des aires fractionnelles a été appliquée aux images radar des deux régions en considérant trois seuils valant 0.4, 3 et 6 mm/h respectivement. A cet effet, nous avons représenté les nuages de points et les droites de régression obtenus en exprimant la moyenne spatiale du taux de précipitation en fonction de la fraction de surface. Nous trouvons que la pente de la droite de régression croît avec le seuil. La meilleure estimation du taux de précipitations est alors obtenue pour un seuil de 6 mm/h. Plus généralement, les résultats obtenus montrent que la méthode des aires fractionnelles appliquée aux images radar donne une bonne estimation du taux de précipitations pour les régions considérées.

**Mot-clés :** Fraction de surface, précipitations, radar, réflectivité.

### Abstract

The present study is based on the analysis of cloud surfaces in fict to estimat the rain rate. It comes back to analyze the occupied middle surface by the echoes radar for differents threshold of rain rates. This method has been applied to radar's images taken respectively in Bordeaux and Sétif. The method of fractional area has been applied while considering three thresholds: 0.4, 3 and 6 mm/h. For this, we represented the rights of regression gotten while expressing the spatial mean of the rain rate according to the fraction of surface. The best evaluation of the rain rate is gotten for a threshold of 6 mm/h. Generally, the results show that the method of area integral to the radar's image gives a good evaluation of the rain rate for the two considered regions.

**Key-words :** Fraction of area, rain rate, radar, reflectivity.

### Introduction

L'étude du cycle de l'eau, et en particulier des précipitations, a depuis toujours suscité un grand intérêt à l'échelle du globe terrestre. L'évolution des précipitations au cours du temps et donc, leur prévision sont encore mal connues, malgré l'existence d'instruments de mesure performants et le développement de modèles assez puissants. Ainsi, le pluviomètre permet de mesurer la lame d'eau précipitée à l'endroit où il a été installé. Cependant, pour déterminer la distribution spatiale des pluies dans une région donnée, il est nécessaire de multiplier le nombre de pluviomètres et de les répartir convenablement dans la région considérée. La distribution spatiale des précipitations peut aussi être évaluée au moyen d'un radar météorologique ou de satellites météorologiques. En particulier, le radar météorologique apporte, à chaque instant, des informations sur l'intensité des précipitations, exprimée en termes de réflectivité et sur leur répartition spatiale. L'impact visé dans ce travail est l'emploi du radar météorologique en tant qu'instrument de mesure des précipitations en utilisant la surface des nuages précipitant. La relation entre la surface occupée par un nuage et la quantité de précipitation produite par celui-ci a été étudiée pour la première fois par Bayers (1948).

### Base de données

Dans cette étude nous avons considéré deux séries d'images radar l'une prise dans la région de Sétif en Algérie et l'autre dans la région de Bordeaux en France. Toutes ces images ont été acquises par un radar météorologique AWSR-81 travaillant dans la bande C. Elles se composent de 512 x 512

pixels et ont été enregistrées selon le format PPI avec une résolution de 1 km par pixel. Les images radar de Bordeaux ont été collectées toutes les cinq minutes suivant onze niveaux de couleurs durant le mois de juin 1996. Les images radar de Sétif ont été collectées toutes les quinze minutes suivant seize niveaux de couleurs durant le mois de janvier 2001. Durant cette période, nous disposons également pour la région de Sétif des lames d'eau ponctuelles enregistrées toutes les six minutes autour du radar par des stations automatiques équipées de pluviomètres. Les images radar faisant l'objet de cette étude se composent toutefois de divers échos résultant de la rétro diffusion des ondes électromagnétiques par tous les obstacles rencontrés par celles-ci (Boítias, 1983). Les procédés d'élimination de ces échos parasites dans les images radar, sont surtout basés sur les propriétés naturelles de ces échos à savoir leur forme, leur évolution dans le temps et leur distance par rapport au radar (Darricau, 1993). Pour éliminer les échos en provenance des chaînes montagneuses des Babors et des Bibans entourant le radar de Sétif, nous avons procédé par masquage (Adane et al, 1999). Ainsi les images obtenues ne comportent pratiquement que des échos de précipitations. Dans notre étude nous avons considéré, une couronne centrée sur le radar comprise entre 30 et 120 km pour les images des deux régions. Le choix d'une telle surface se justifie par les contraintes imposées par la présence de résidus des échos du sol même après filtrage et par l'atténuation atmosphérique. En effet, au voisinage du radar, dans la zone générée par un rayon inférieur à 30 km, se trouvent des échos parasites très intenses en provenance du sol. Au-delà de 120 km de rayon, les ondes radar sont fortement atténuées par le milieu atmosphérique, surtout lorsqu'elles traversent des masses nuageuses et les ondes de retour étant peu intenses, on ne peut plus extraire convenablement l'information hydrologique de celles-ci.

La méthode des aires fractionnelles

La quantité d'eau reçue par un élément de surface  $dA$  dans l'intervalle de temps  $dt$ , peut être exprimée par : (Sauvageot, 1994)

$$V = \int_T \int_A R dA dt \quad (1)$$

Les observations étant effectuées à des instants discrets, ce volume peut être représenté par une somme qui s'écrit :

$$V = \sum_i \langle R_i \rangle A_i \Delta t_i \quad (2)$$

Dans cette expression,  $A_i$  est la surface de pluie et  $\Delta t_i$  est l'intervalle séparant deux observations successives. En pratique, compte tenu de sa sensibilité, le radar détecte un signal minimum ( $\tau$ ). La surface observée par le radar, est alors formée de tous les pixels pour lesquels  $R > \tau$ . Le Résultat est une surface  $A(\tau)$  inférieure à la surface de pluie  $A$ . D'où :

$$\langle R \rangle = s(\tau) F(\tau) \quad (3)$$

avec :  $F(\tau) = A(\tau) / A$  (4)

$F(\tau)$  est un facteur de proportionnalité qui dépend du seuil  $\tau$  et des conditions climatiques de la région considérée. L'évaluation de l'intensité des précipitations à partir des aires fractionnelles peut se faire en considérant une surface  $A_0$  autre que la surface arrosée  $A$ . Cette surface qui peut être soit une maille carrée, soit une surface annulaire centrée sur le radar, englobe tout aussi bien des zones pluvieuses que non pluvieuses. Les équations obtenues sont similaires, sauf que les aires fractionnelles sont  $F(\tau) = A(\tau) / A_0$ .

### Application et discussion

L'intensité des précipitations  $R$  a été calculée à partir d'images radar en utilisant une relation de type  $Z = a R^b$  (Atlas, 1990). Pour trouver une telle relation, on associe le radar à un nombre de pluviomètres répartis convenablement autour de celui-ci. Puis, on détermine les paramètres  $a$  et  $b$  en procédant par lissage (Nzeukou et al, 1995). Pour la région de Sétif la relation que nous avons

trouvé en utilisant les données au sol de 3 stations météorologiques est de la forme  $Z= 500 R^{1.4}$  (Râaf, 2002). Etant donné que nous ne disposons pas de données au sol pour la région de Bordeaux pour estimer le taux de précipitation, nous avons appliqué une relation empirique proposée pour des pluies convectives de la forme  $Z=486 R^{1.3}$ (Jones,1956). Le facteur  $F(\tau)$  a été calculé à partir d'images radar en considérant une surface annulaire comprise entre 30 et 100 km. Les figures 1(a,b) et 2(a,b) représentent le facteur de réflectivité cumulé et la fraction de surface pour Sétif et Bordeaux respectivement en considérant un seuil  $\tau=3$  mm/h. Les figures 3(a et b) représentent les nuages de points et les droites de régression obtenus en exprimant la moyenne spatiale du taux de précipitation en fonction de la fraction de surface  $F(\tau)$  pour  $\tau =3$  mm/h pour les deux régions d'étude. Nous avons représenté sur le tableau I, les fonctions des droites de régression ( $\langle R \rangle = s(\tau)F(\tau) + I(\tau)$ ) obtenues pour les 3 seuils tel que  $I(\tau)$  représente l'ordonnée à l'origine.

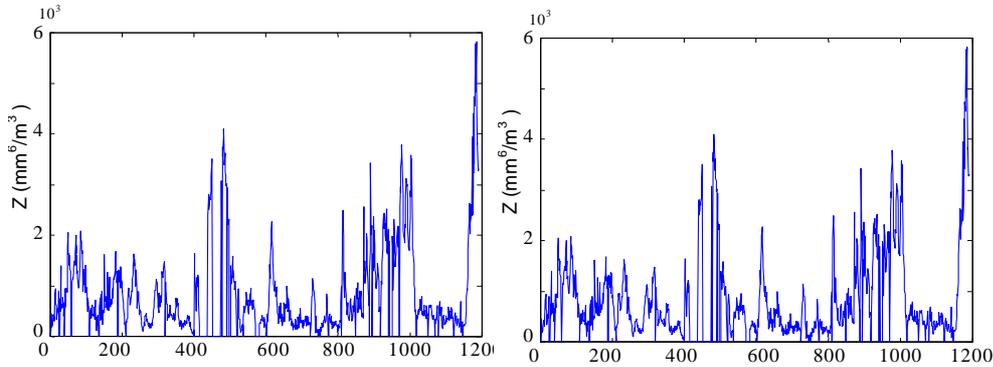


Fig. 1. Le facteur de Réflectivité cumulé Z pour (a) Sétif & (b) Bordeaux pour  $\tau=3$  mm/h

| Régions  | $\tau = 0.4$ mm/h      |        | $\tau = 3$ mm/h        |        | $\tau = 6$ mm/h        |        |
|----------|------------------------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|
|          | $\langle R \rangle$    | $\rho$ | $\langle R \rangle$    | $\rho$ | $\langle R \rangle$    | $\rho$ |
| Sétif    | $10.54 s(\tau) + 0.25$ | 0.9    | $12.25 s(\tau) + 0.32$ | 0.91   | $17.82 s(\tau) + 0.39$ | 0.93   |
| Bordeaux | $2.35 s(\tau) + 0.02$  | 0.86   | $9.99 s(\tau) + 0.02$  | 0.86   | $39.93s(\tau)+0.002$   | 0.91   |

Tableau I. Fonction des droites de régression pour les deux régions d'études.

D'après ces résultats, la pente  $s(\tau)$  de la droite de régression croît avec le seuil  $\tau$ . L'intersection de ces droites avec l'axe des ordonnées est proche de zéro et la probabilité que l'intensité des précipitations soit supérieure au seuil  $\tau$ , décroît avec ce dernier. La meilleure estimation de R est alors obtenue lorsque  $\tau$  est égal à 6 mm/h. Les erreurs d'estimation sont essentiellement causées par le seuil minimum détectable du radar

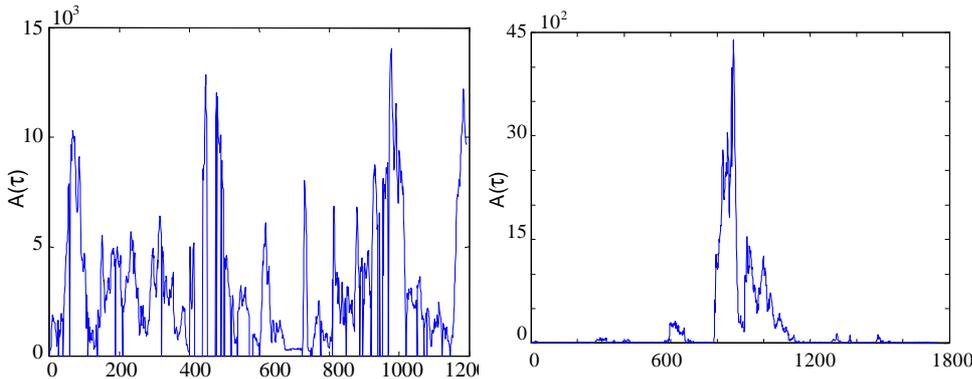


Fig.3. R en fonction  $F(\tau)$ , pour  $\tau = 3$  mm/h pour (a) Sétif & (b) Bordeaux

## Conclusion

L'application de la méthode des aires fractionnelles aux images radar revient à analyser la surface moyenne occupée par les échos radar pour différents seuils de détection des taux de pluie. Ainsi la détermination du facteur de proportionnalité  $F(\tau)$  permet l'estimation directe de l'intensité de précipitation à partir de l'image radar.

## Références bibliographiques

ADANE Y., HADJEM A., Juillet 1999 ; Elimination des échos fixes pour un radar météorologique, Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, U.S.T.H.B.,

BOITHIAS, L., 1983; Propagation des ondes radioélectriques dans l'environnement terrestre, Ed. Chiron, Paris.

DARRICAU, Y., 1993, Physique et théorie du radar, Tome I et II, Ed. Sodye, Paris.

NZEUKOU A., FONGANG S., DIOP M. ET SAUVAGEOT H., 1995 ; Etablissement d'une relation entre réflectivité et intensité de pluie pour le radar de Dakar-Yoff pendant l'été 1993. *Publ. Ass. Int. Clim.*, **8** : 99-107.

RAAF O. , Juillet 2002 ; Application de l'instrumentation radar à la pluviométrie, Thèse de Magister, U.S.T.H.B.,

SAUVAGEOT, H., 1994 ;The probability density function of rain rate and estimation of rain-fall by area integrals, *J. App.Meteor.*, **33** : 1255-1262.

## **SITUATIONS ANTICYCLONIQUES AUTOMNALES ET PRINTANIÈRES ET REPARTITION DES TEMPERATURES EN TUNISIE.**

**J. ELHAJRI**

*Département de géographie  
Faculté des lettres, 2010 Manouba, Tunisie  
E-mail: Jamil\_Hajri@yahoo.fr*

### **Résumé**

Les situations anticycloniques automnales et printanières sont fréquentes en Tunisie. Elles peuvent être à l'origine des contraintes climatiques: phénomènes de blocage, températures excessives, sécheresses climatiques...

A partir des données couvrant une vingtaine d'années et concernant l'automne et le et le printemps nous étudions ici :

- L'état moyen des maxima et minima thermiques aussi que le paramètre pression atmosphérique.
- L'étude détaillée de l'année 2004 de point fréquence, persistance des situations anticycloniques et leurs répercussions sur les minima et les maxima thermiques selon l'origine de l'anticyclone.

**Mots- clés:** Tunisie, situations anticycloniques, automne, printemps, répartition des températures.

### **Abstract**

The autumnal and spring- like anticyclonic situations are regularly seen in Tunisia.

They can be due to the climatic constraints:

Sticking phenomenons, excessive temperature, climatic dryness...

From the data that covered the twenty years and that concerned autumn and spring, we study here:

- The average state of maximum and minimum thermic such as the parameter of atmospheric pressure.
- The detailed study of the year 2004 from the point view of frequency, persistence of anticyclonic situations and their repercussions on the minimum and maximum thermic according to the anticyclonic origin.

**Key-words:** Tunisia, anticyclonic situations, the autumn, the spring, the distribution of temperature.

### **Introduction**

La Tunisie par sa position géographique se trouve fréquemment intéressée par des situations anticycloniques. Ces situations caractérisées par un ciel dégagé et un temps sec ont une influence sur les maxima et les minima thermiques climatiques.

- La persistance des situations anticyclones en automne peuvent être à l'origine d'un phénomène de blocage, des températures élevées et par conséquent des sécheresses climatiques. Ce qui retarde ou perturbe le commencement de la saison agricole.

- Durant le printemps - saison de croissance et de développement végétale - Des situations anticycloniques peuvent être à l'origine des phénomènes de condensation terrestre - notamment la gelée qui peut avoir des dégâts sur les cultures. Il est donc important d'étudier ces ambiances climatiques, leurs fréquences et persistances, leurs variations et leurs influences sur la répartition spatiale des températures automnales et printanières.

### **Données et méthodes**

Les données utilisées dans cette étude sont recueillies auprès de l'Institut National de la Météorologie (I.N.M). Elles comportent:

Les minima et les maxima thermique journaliers sur une période d'une vingtaine d'années allant de 1985 jusqu'au 2004.

La pression atmosphérique journalière sur la même période.

La force et la direction des vents aussi sur la période de 20 années.

Les stations retenues dans cette étude sont au nombre de 26 qualifiées comme stations principales.

L'explication des événements étudiés a été basée sur l'analyse des bulletins quotidiens de renseignements publiés par l'I.N.M. et les bulletins hebdomadaires d'études et de renseignements publiés par Météo France.

La fréquence, la persistance et l'évolution des situations anticycloniques ont été les principaux axes de cette étude. Les répercussions des ambiances climatiques agréables engendrées par ces situations anticycloniques sur l'intensité et la répartition spatiale des minima et des maxima thermiques ont constitué aussi un point essentiel dans cette étude.

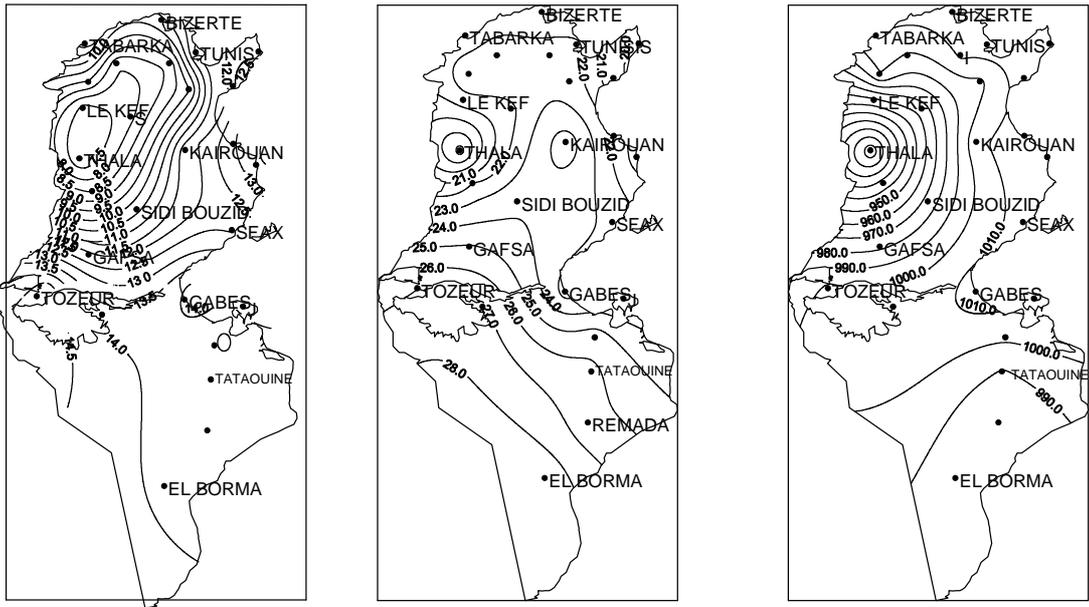
Dans ce résumé, on se limite à quelques résultats. Les détails seront présentés dans le travail final.

**Résultats :**

Etat moyen et caractéristiques statistiques des paramètres climatiques étudiés.

L'état moyen est donné par les cartes suivantes :

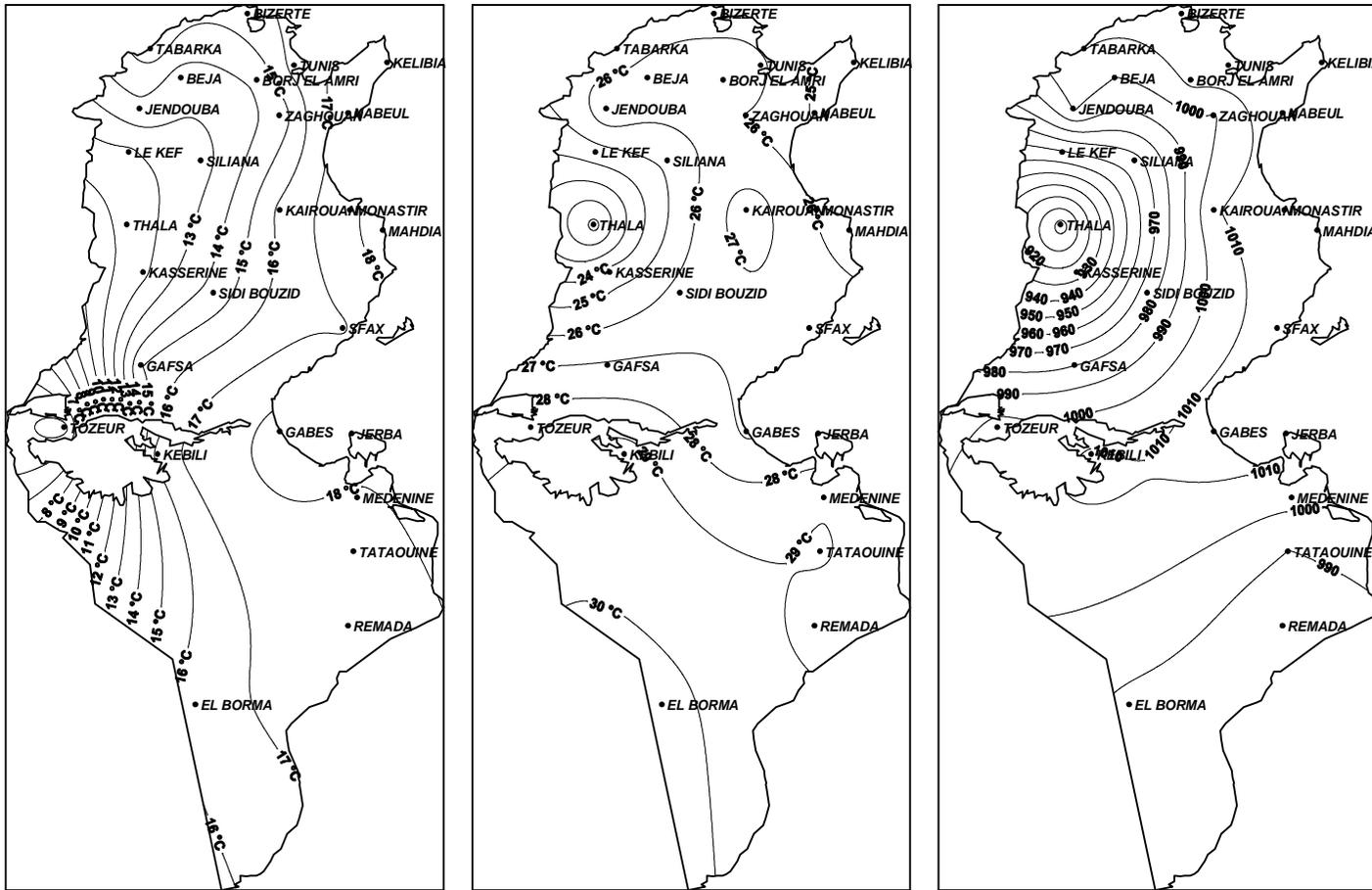
**Fig1.** Minima moyens du print. Maxima moyens du print. Pressions moyennes du print.



**Fig2.** Minima moyens de l'automne

Maxima moyens de l'automne

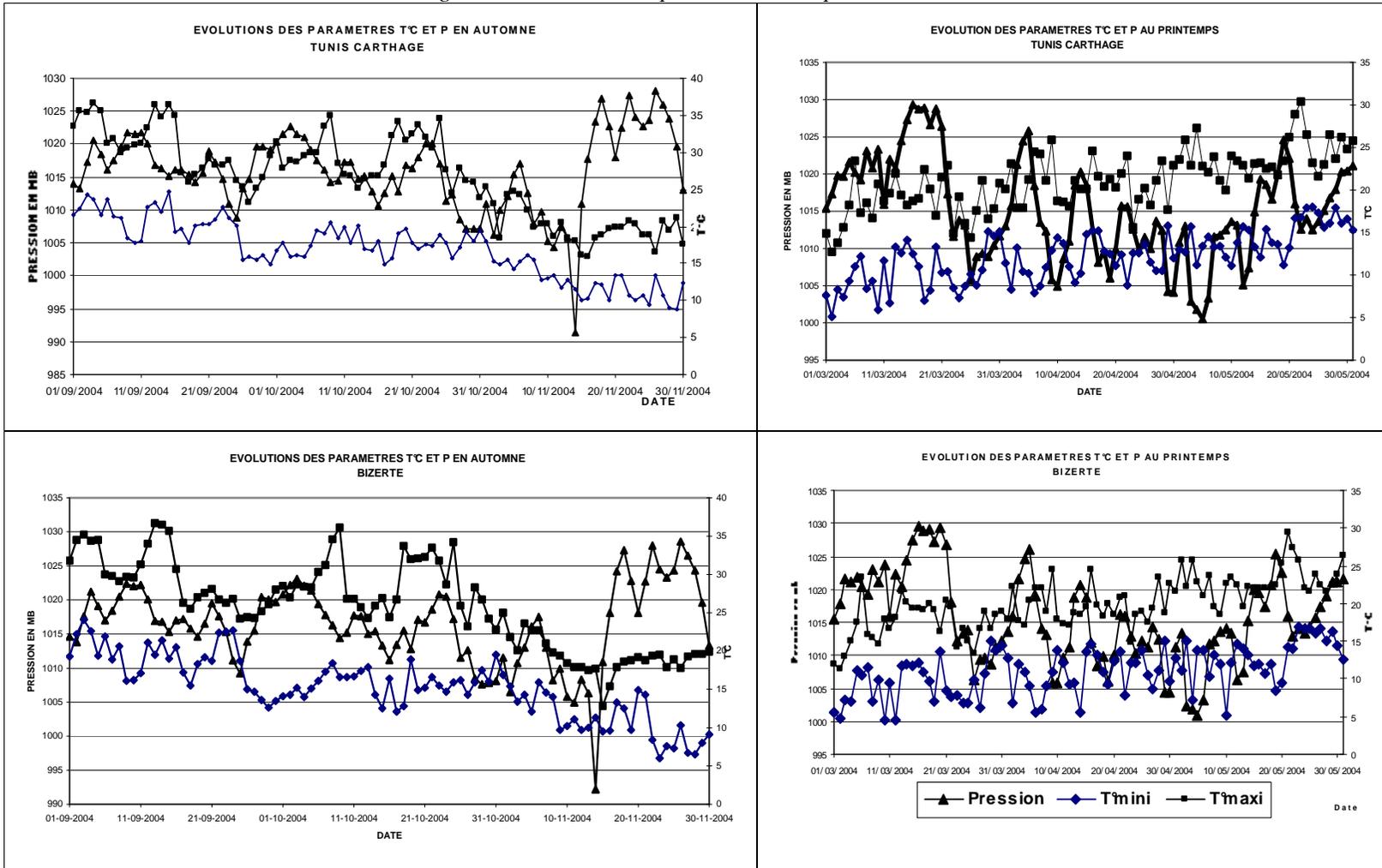
Pressions moyennes de l'automne



Il est intéressant de dire que les facteurs éloignement de la mer et latitude expliquent la répartition spatiale des différents paramètres climatiques étudiés.

**L'exemple de l'année 2004:** Evolution des paramètres étudiés:

Fig3 : Evolution des températures et des pressions:



- *Fréquences des situations anticycloniques.*

| Station        | Printemps | Automne |
|----------------|-----------|---------|
| Bizerte        | 64%       | 71%     |
| Tunis Carthage | 57%       | 72%     |
| Kairouan       | 26%       | 29%     |
| Gabes          | 56%       | 71%     |
| Kebelli        | 31%       | 29%     |

-*Persistance des situations anticycloniques.*

| Stations       | Printemps 2004                                     |      |       |      | Automne 2004                                       |      |       |      |
|----------------|--|------|-------|------|--|------|-------|------|
|                | Fréquences (%) des durées des épisodes (en jours). |      |       |      | Fréquences (%) des durées des épisodes (en jours). |      |       |      |
|                | 1-5  | 6-10 | 11-20 | >20  | 1-5  | 6-10 | 11-20 | >20  |
| Bizerte        | 17,18  | 40,6 | 0     | 37,2 | 6,7  | 8,6  | 23,1  | 62,3 |
| Tunis Carthage | 15   | 39,6 | 0     | 45,2 | 4,4  | 8,9  | 52,2  | 34,3 |
| Kairouan       | 54,16  | 0    | 45,8  | 0    | 44,4   | 55,5 | 0     | 0    |
| Gabes          | 23   | 28,8 | 0     | 48   | 4,2  | 12,6 | 49,2  | 33,8 |
| Kebilli        | 35,7   | 0    | 64,2  | 0    | 0  | 21,4 | 78,5  | 0    |

**Conclusion.**

Durant les saisons du printemps et de l'automne, les situations anticycloniques sont très fréquentes en Tunisie. Leurs influences sur la répartition spatiale des maxima et des minima thermique sont parfois déterminantes. D'où l'intérêt pratique que revêt l'étude de tels phénomènes.

**Bibliographie.**

HENIA L., 1980: Le sirocco et les types de circulation à sirocco en Tunisie, in *Revue tunisienne de géographie*, n°5, p.61-87.

HENIA L., et MOUGOUR., 1997 : Contribution à l'étude des contraintes climatiques en Tunisie : cas de la gelée au sol, *Publication de l'AIC n°10*, p.207-215

HENIA L., 1998: Les situations anticyclonique en Tunisie, *Publication de l'AIC n°110*, p.166-174

MELKI T., 1996 : Les masses d'air en Tunisie, Thèse de troisième cycle, Université de Tunis I, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, 328P.



## ETUDE DE LA PERSISTANCE A LONG TERME D'UNE VARIABLE CLIMATIQUE : LE RAYONNEMENT SOLAIRE

S. HARROUNI\*, A. GUESSOUM\*\*

\* *Instrumentation Solaire et Modélisation – LINS  
Faculté d'Electronique et Informatique – USTHB  
BP 32 El Alia, 16111 Alger, Algérie  
sharrouni@yahoo.fr*

\*\* *Laboratoire de Traitement de Signal et Imagerie  
Université de Blida  
BP 270, Blida, Algérie.  
aguessoum@caramail.com*

### Résumé

Dans cet article, nous examinons la persistance à long terme des données du rayonnement solaire. Cette variable climatique dont l'analyse et la prédiction ont un impact important sur la météorologie et l'étude des systèmes énergétiques est caractérisée par l'auto-affinité ou fractalité. Cette dernière implique une mémoire longue des séries temporelles qui traduit une corrélation des données à des échelles longues. Aussi, dans cet article, nous avons utilisé la dimension fractale des données de l'irradiation solaire de deux sites pour étudier la persistance à long terme. Les résultats expérimentaux ont montré que l'irradiation solaire présente une anti-persistance à l'échelle journalière. Par contre à l'échelle annuelle, l'irradiation solaire présente une persistance pour le site de Seattle et une anti-persistance pour le site de BCI. Ceci démontre qu'à l'échelle annuelle l'étude de persistance nécessite une banque de données plus large.

**Mots – clés :** Persistance, mémoire longue, dimension fractale, irradiation solaire

### Abstract

This article deals with the long range persistence of solar radiation data. This climatic parameter which prediction and analysis is very important on meteorology and system PV survey is characterized by auto-affinity or fractality. This last implies a long memory of time series which means a correlation between data at large scales. Also, in this article, we used the fractal dimension of solar radiation data for two sites in order to study the long range persistence. Experimental results showed that daily solar radiations present an anti-persistence. On the other hand annual solar radiations present a persistence for Seattle site and an anti-persistence for BCI site. This demonstrates that at the annual scale the study of persistence requires a larger databank.

**Key- words :** Persistence, long memory, fractal dimension, solar radiation

### Introduction

La persistance des états de temps aux échelles courtes est un phénomène bien connu en climatologie subtropicale. Un jour ensoleillé a plus de chance d'être suivi d'un jour ensoleillé que d'un jour pluvieux et vice versa. Ainsi, ce type de persistance à court terme s'arrête habituellement après environ une semaine. Sur de plus grandes échelles, d'autres types de persistance se produisent. Dans nos travaux précédents, nous avons montré que les données du rayonnement solaire sont des séries auto-affines ou fractales. Le mathématicien Benoit Mandelbrot considéré comme créateur des fractales, caractérise les processus fractaux par une " mémoire longue " ou ce qui est appelé " la dépendance à long terme " (long range). " La mémoire longue " décrit la corrélation des séries temporelles à des échelles longues. Cette corrélation qui traduit la persistance à long terme des séries fractales est généralement quantifiée en utilisant plusieurs techniques, on peut citer : les semi-variogrammes (Matheron, 1963), l'analyse spectrale (Bruce et al., 1999), l'analyse des ondelettes (Grossman and Morlet, 1984) et l'analyse de l'échelle réduite R/S (Hurst, 1951 ; Hurst et al., 1965). Cette dernière est la plus utilisée et son indice de persistance est l'exposant  $H$  établi par Hurst. Ce paramètre est lié à la dimension fractale par la relation  $D = 2 - H$ . Ainsi, un exposant  $H$  entre 0.5 et 1 ( $D$  entre 1 et 1.5) montre la persistance dans les séries temporelles. C'est à dire que si la série a connu une croissance sur une période, celle-ci continuera probablement la période suivante. Pour

des exposants  $H$  inférieurs à 0.5 ( $D$  supérieure à 1.5) c'est exactement l'inverse avec des comportements moins prévisibles.

Dans cet article, nous examinons la persistance à long terme des données du rayonnement solaire. Le but de notre travail est de déterminer si la " mémoire longue " existe dans les séries du rayonnement solaire. Grâce à une banque de données de l'irradiation solaire journalière et annuelle, nous testons la persistance à long terme de cette variable climatique à travers la mesure du paramètre  $D$  en utilisant une méthode d'estimation de ce paramètre que nous avons déjà élaboré dans nos travaux précédents. Ainsi, le présent travail offre une manière nouvelle et simple de quantification de la persistance des séries temporelles en général et du rayonnement solaire en particulier.

## 1. Banque de données

Les données expérimentales utilisées sont les irradiances solaires globales journalières enregistrés dans deux sites : Seattle (47.68°N ; 122.25°W ; 20 m) situé à Washington et Barro Colorado Island (BCI) (9°10'N ; 79°51'W ; 137 m). Les données ont été mesurées au cours de la période 1995-2004 pour Seattle et 1990-2004 pour BCI.

## 2. Méthode d'estimation de la dimension fractale

La méthode élaborée (Maafi et Harrouni, 2003 ; Harrouni et al., 2005) consiste à recouvrir le signal dont on veut calculer la dimension fractale par des rectangles (Fig. 1.). La surface  $S(\Delta\tau)$  de la courbe recouverte est alors calculée comme suit:

$$S(\Delta\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} \Delta\tau \cdot |E(t_n + \Delta\tau) - E(t_n)| \quad (1)$$

$N$  représente la taille du signal à étudier,  $E(t_n)$  est l'éclairement global à l'instant  $t_n$  et  $|E(t_n + \Delta\tau) - E(t_n)|$  est la variation de l'éclairement pendant l'intervalle  $\Delta\tau$ .

D'après la définition de Bouligand et en utilisant les propriétés du logarithme on déduit la relation (2) ci-dessous à partir de laquelle  $D$  est calculée en utilisant la méthode des moindres carrés :

$$\ln\left(\frac{S(\Delta\tau)}{\Delta\tau^2}\right) \cong D \cdot \ln\left(\frac{1}{\Delta\tau}\right) + \text{constante} \quad (2)$$

avec  $\Delta\tau \rightarrow 0$

Pour déterminer la dimension fractale  $D$  qui représente la pente de la droite (2), il faudrait mesurer pour chaque instant  $t_n$  la surface  $S(t_n)$  correspondante en utilisant l'équation (1). On aura alors plusieurs points  $(t_n, S(t_n))$  qui constituent la droite (2).

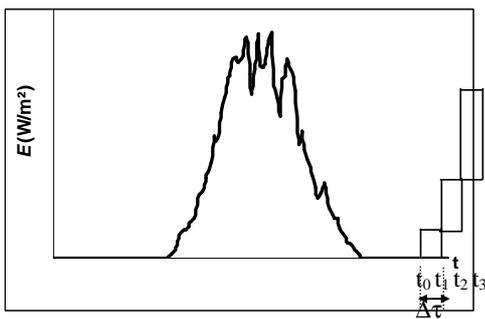


Fig.1. Recouvrement d'une courbe temporelle discrète par des rectangles

## 2. Application et discussion

La méthode de mesure de la dimension fractale que nous avons présentée a été appliquée aux signaux d'irradiations solaires journalières décrits dans le paragraphe 2.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 1. Nous remarquons que la dimension fractale de l'irradiation journalière sur une période d'une année est en moyenne égale à 1.88 pour Seattle et 1.92 pour BCI. De même sur une période de 10 ans (1995-2004) pour Seattle, la dimension fractale a été trouvée égale à 1.87 et sur la période de 14 ans (1990-2004) pour BCI à 1.93. Ces résultats montrent que l'irradiation journalière présente une anti-persistance puisque la dimension fractale est supérieure à 1.5 même sur une période qui dépasse 10 ans.

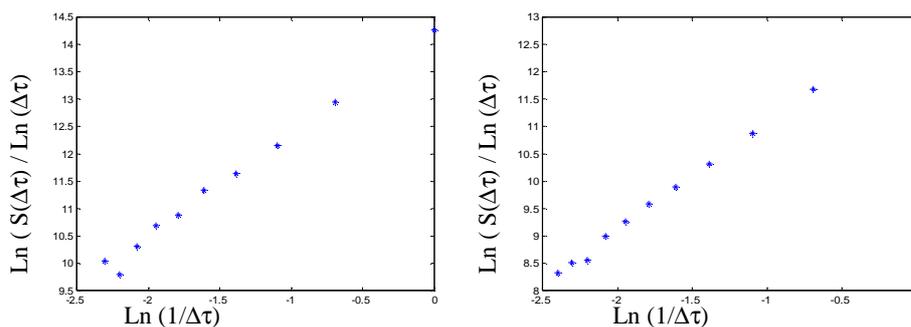
La figure 2 représente deux exemples de tracés log-log des irradiations journalières testées. Nous remarquons que généralement les points se situent sur une ligne droite linéaire ce qui montre le caractère d'auto-affinité ou mémoire longue de ces données.

Afin d'explorer la persistance à long terme de l'irradiation solaire nous avons poussé notre travail à l'échelle annuelle au lieu de journalière. Pour ce faire, nous avons calculé l'irradiation solaire moyenne annuelle pour la période déjà considérée. Nous avons ensuite procédé à l'estimation de la dimension fractale de la série d'irradiations annuelles sur cette période.

Nous avons trouvé pour Seattle une dimension fractale de 1.31 donc inférieure à 1.5. Ceci montre que l'irradiation solaire annuelle de Seattle présente une persistance à long terme donc une corrélation positive entre ces données. Par contre pour BCI, nous avons trouvé une dimension fractale de 1.84. Ceci montre une anti-persistance pour les irradiations annuelles de ce site.

| Site \ Année | Année |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|              | 1990  | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |  |
| Seattle      |       |      |      |      |      | 1,84 | 1,85 | 1,92 | 1,91 | 1,83 | 1,9  | 1,84 | 1,91 | 1,85 | 1,92 |  |
| BCI          | 1,9   | 1,89 | 1,96 | 1,95 | 1,93 | 1,93 | 1,94 | 1,87 | 1,93 | 1,9  | 1,91 | 1,95 | 1,98 | 1,99 | 1,81 |  |

Tableau 1. Dimensions fractales de l'irradiation journalière sur une période d'une année



(a) (b)

Fig.2. Exemples de tracés log-log des irradiations journalières a) Seattle 1998 b) BCI 1990

## Conclusion

Dans cet article, nous avons étudié la persistance à long terme d'une variable climatique : l'irradiation solaire à travers l'estimation de sa dimension fractale. Nous avons démontré qu'à l'échelle journalière, l'irradiation présente une forte anti-persistance puisque la dimension fractale dépasse 1.5. Par contre, à l'échelle annuelle nous avons détecté une persistance à long terme pour le site de Seattle puisque la dimension fractale a été trouvée inférieure à 1.5. Cette persistance toutefois n'a pas été détectée pour le site de BCI où la dimension fractale des irradiations annuelles a été trouvée supérieure à 1.5. Nos résultats sont très utiles pour prévoir à longue échelle les données du rayonnement solaire. En effet, le fait que la dimension fractale s'éloigne de 1.5 qu'il y ait persistance ou anti-persistance montre que l'irradiation solaire est un paramètre tout à fait

prévisible. Ceci est d'un grand intérêt, vu que l'irradiation solaire représente une variable importante aussi bien dans le domaine météorologique puisqu'il permet de déterminer les types de temps, que dans le domaine énergétique étant donné que c'est la source qui alimente les systèmes photovoltaïques. Afin d'établir la validité des résultats trouvés dans ce travail, il est nécessaire d'étaler la banque de données utilisée puisque 10 ans de données ne nous permettent pas de prononcer définitivement sur les résultats publiés ici et c'est l'objectif de nos prochains travaux.

### Références

- GROSSMANN, A., MORLET, J., 1984. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal.*, 15: 723-736.
- HARROUNI, S., GUESSOUM, A., MAAFI, A., 2005. Classification of daily solar irradiation by fractional analysis of 10-min-means of solar irradiance. *J. Theor. Appl. Climatol.*, 80: 27-36.
- HURST, H.E., 1951. Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.*, 116: 770-808.
- HURST, H.E., BLACK, R.P., SIMAIKA, Y.M., 1965. Long-term storage. Constable, London.
- MAAFI, A., HARROUNI, S., 2003. Preliminary results of fractal classification of daily solar irradiances. *J. Solar Energy*, 75: 53-61.
- MALAMUD, B.D., TURCOTTE, D.L., 1999. Self-affine time series: measures of weak and strong persistence. *J. Stat. Plan. Infer.*, 80: 173-196.
- MATHERON, G., 1963. Principles of geostatistics. *Econom. Geol.*, 58: 1246-1266.

# VALIDATION D'UN MODELE CLIMATIQUE EN VUE D'UNE SIMULATION DU CLIMAT FUTUR DANS LES ALPES DU SUD (FRANCE).

**M. LAUFFENBURGER**

*Institut de Géographie, Université Paris Panthéon - Sorbonne, Paris1, Laboratoire de Météorologie Dynamique  
CNRS/IPSL/UPMC Paris, Laboratoire Biogéographie – FRE 2545, [Mireille.Lauffenburger@lmd.jussieu.fr](mailto:Mireille.Lauffenburger@lmd.jussieu.fr),*

**C. KERGOMARD**

*Ecole Normale Supérieure, Département de Géographie,  
[Claude.Kergomard@ens.fr](mailto:Claude.Kergomard@ens.fr)*

**V. JOURNE**

*Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement,  
[journe@centre-cired.fr](mailto:journe@centre-cired.fr)*

## **Résumé**

L'étude réalisée consiste à valider, à l'aide d'un modèle numérique de terrain, les sorties d'un modèle climatique (General Circulation Model – GCM) en vue d'une simulation du climat futur en région de topographie contrastée (exemple des Alpes françaises du sud).

**Mots-clés :** changement climatique, simulation régionale, modèle numérique de terrain.

## **Abstract**

The validation of a climatic model for a simulation of future climate in the southern French Alps, an area with strong topographic and climatic contrasts, is performed using a digital elevation model.

**Keywords:** global warming, regional simulation, digital elevation model.

## **Introduction**

L'étude des variations climatiques d'origine anthropique repose sur les simulations de modèles dont la résolution spatiale est limitée. Pour approcher de façon réaliste les impacts de ces variations, ce qui répond à un besoin et à une orientation dominante des travaux actuels, il conviendrait de pouvoir travailler à une échelle régionale, qui seule permet une prise en compte de la diversité topographique et géographique.

Notre travail se place dans cette perspective ; il se propose de valider les résultats d'un modèle climatique dont la résolution spatiale est de 2,5° de latitude sur un espace régional (le sud-est de la France), marqué des contrastes topographiques importants. Dans un premier stade, notre validation a porté sur les températures moyennes mensuelles simulées par le modèle.

## **1. Données et méthode : du planétaire au régional**

### 1.1. Données à l'échelle planétaire et régionale

L'étude du climat et son évolution nécessitent une description détaillée des phénomènes atmosphériques et des interactions entre l'atmosphère et l'océan. Afin d'établir des prévisions climatiques, les modèles numériques du climat, dits modèles couplés, prennent en considération l'ensemble des interactions complexes des divers éléments du système climatique : atmosphère, océan, glaces, surfaces continentales et biosphère (*Polcher, 1998*).

Dans ce premier stade, nous avons utilisé les données de sorties du modèle climatique (General Circulation Model – GCM) de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) et du Laboratoire de Météorologie Dynamique de Paris (LMD). Nous avons utilisé la version LMDz du GCM qui propose et permet de comparer deux simulations du climat, la première dite de « contrôle »

(atmosphère avec un taux de CO<sub>2</sub> correspondant à celui des années 1860, soit un taux pré-industriel), et la seconde (2 x CO<sub>2</sub>) qui correspond au climat résultant d'un doublement du taux de gaz carbonique atmosphérique calculé par un accroissement du taux au rythme de 1% par an depuis les années 1860.

Notre validation porte sur la simulation climatique de la période de contrôle, par comparaison entre les sorties du modèle (GCM) et les données observées, recueillies dans la base de données constituée dans les années 1970 par l'Equipe de Recherche n°30 du CNRS de Grenoble sous la direction de Ch.-P. Péguy. Les données utilisées sont celles qui ont servi l'établissement des feuilles de Marseille, Valence, Gap et Nice de la carte climatique détaillée de la France au 1/250 000 (ER 30, 1981).

### 1.2 Méthodologie

La zone d'étude recouvre les Alpes du sud-est de la France et plus précisément les départements des Hautes-Alpes (05), des Alpes Maritimes (06), des Bouches-du-Rhône (13), de la Drôme (26), du Var (83) et du Vaucluse (84). Pour cette région, 60 stations et postes météorologiques, offrant une bonne homogénéité dans les données de température pour la période 1951-70, ont été sélectionnés. Cette sélection se distingue également par une distribution spatiale uniforme sur l'ensemble de la zone d'étude et par un panel varié de caractéristiques géographiques, en particulier leur altitude et leur position topographique.

Une limite importante voire principale du modèle LMDz pour l'étude des impacts à grande échelle spatiale réside dans une topographie extrêmement lissée ; pour comparer les températures simulées et les températures observées, il était nécessaire d'appliquer aux premières une correction des effets de l'altitude. La première étape a donc consisté à établir la différence entre la topographie ( $\Delta z$ ) du modèle numérique du climat pour la version LMDz, interpolée sur la zone d'étude, et un modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution kilométrique, le MNT GTopo30 de l'USGS (figure 1).

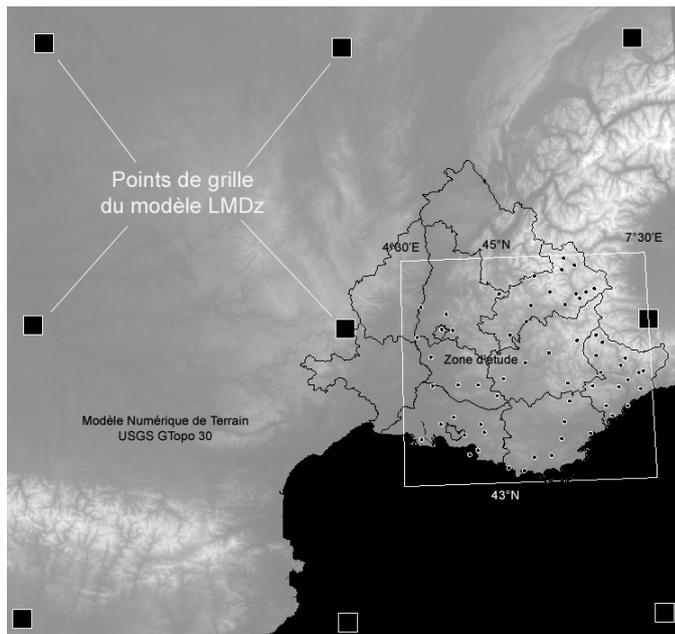


Figure 1 : La zone de l'étude. Les 9 points de grille du modèle LMDz sont représentés par des carrés, les 60 stations utilisées pour la validation par des points.

Pour obtenir les températures simulées aux points correspondant à nos 60 stations, nous avons interpolé les champs de température ( $T_{\text{LMDZ}}$ ) par un ajustement de surface de tendance d'ordre 2 à partir des 9 points de grille du modèle numérique LMDZ recouvrant la zone d'étude, puis appliqué la correction aux données de température interpolées du modèle LMDZ suivante :

$$T_{\text{cor}} = T_{\text{LMDZ}} + \nabla t \cdot \Delta z$$

où  $T_{\text{LMDZ}}$  est la température interpolée par la surface de tendance et  $\nabla t$  est un gradient thermique altitudinal déterminé par l'analyse de la base de données ER30, selon les principes définis par *Douguedroit et de Saintignon (1981)*.

Cette méthode de correction des températures simulées permet dans un premier temps la validation par comparaison entre les températures simulées par le modèle LMDZ dans le cas de la situation de contrôle et les températures observées de la période 1951-70 ; dans un deuxième temps, elle pourra être appliquée aux températures de la simulation  $2 \times \text{CO}_2$  pour l'analyse des impacts du changement climatique attendu dans le sud-est de la France.

## 2. Synthèse des résultats et perspectives

La comparaison des tendances et régimes thermiques simulés par le modèle LMDZ avec les observations des différents stations et postes météorologiques d'étude permet d'évaluer des limites de la modélisation numérique. Le modèle simule ainsi une température moyenne qui s'intègre assez correctement dans l'étendue de la variabilité interannuelle des températures observées sur la période de 20 ans 1951-1970. La correction effectuée en lien avec la décroissance des températures en fonction de l'altitude permet d'effectuer cette validation pour un grand ensemble de stations, plus ou moins éloignées de la mer, et plus ou moins en altitude.

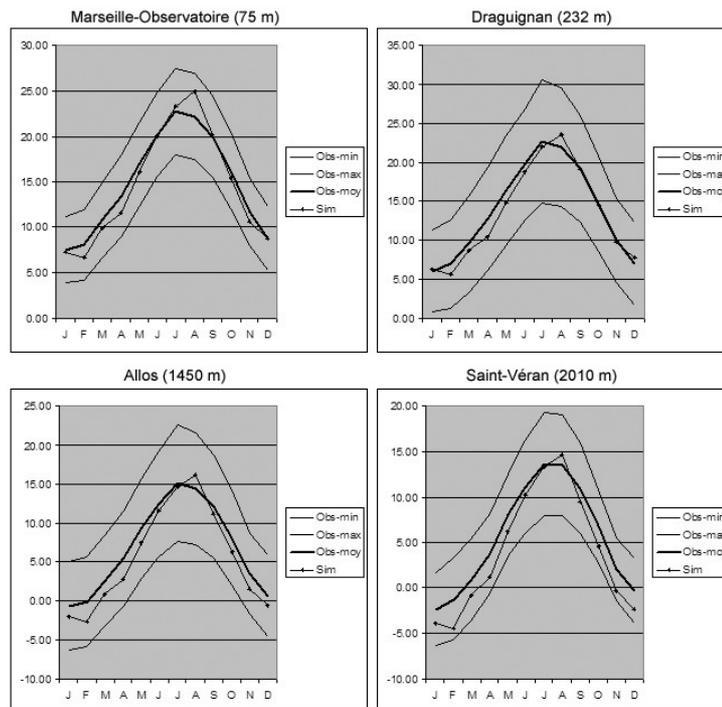


Figure 2 : Comparaison, pour 4 stations, entre les données observées (base de données ER30) et la simulation par le modèle LMDz (après correction du gradient altitudinal).

L'analyse des régimes thermiques saisonniers (figure 2) révèle cependant deux anomalies qui doivent être expliquées par les caractéristiques du modèle (LMDz) :

contrairement aux observations qui situent en janvier et juillet le minimum et le maximum des températures, le modèle numérique LMDz propose un minimum en février et un maximum en août ; il tend en outre à sous-estimer les températures du printemps, et à surestimer celles de l'automne. Cette anomalie pourrait être liée à une exagération des effets de la mer, produisant un climat aux caractéristiques plus « océaniques » que la réalité.

L'amplitude thermique saisonnière, qui apparaît correctement restituée pour les stations littorales (Marseille-observatoire) ou proches de la côte (Draguignan) paraît à l'inverse exagérée pour les stations intérieures et d'altitude que sont Saint-Véran et Allos.

Outre l'intérêt qu'elle revêt pour l'amélioration des modèles, la détection de type d'anomalies permet d'évaluer des limites des simulations du climat futur pour l'étude des impacts sur l'étagement bioclimatique des Alpes du sud.

### **Conclusion**

La comparaison des tendances générales climatiques entre les données observées issues des stations d'étude et les données du modèle numérique du climat LMDz a permis une validation d'un modèle climatique régional pour une simulation du climat futur dans les Alpes du sud-est de la France. Une méthodologie similaire sera prochainement appliquée à la validation des précipitations moyennes simulées par le modèle.

L'objectif est de dégager les transitions des grandes limites de végétation, les changements d'aires d'extension de la végétation, comme la limite de l'olivier ou la limite de la végétation méditerranéenne et celle subalpine.

### **Bibliographie**

CHARRE J. ET DE SAINTIGNON M.-F., 1997 : Les représentations cartographiques du climat, Le Climat, L'eau et les Hommes, ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes.

DOUGUEDROIT A. ET DE SAINTIGNON M.-F., 1981 : Décroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes du Sud et en Provence, Eaux et Climats, Mélanges géographiques offerts à Ch.-P. PGrenoble.

E.R. 30 du C.N.R.S, 1981 : Dix ans de Carte Climatique Détaillée de la France au 1/250 000<sup>e</sup>, Eaux et Climats, Mélanges géographiques offerts à Ch.-P. Péguy, Grenoble.

POLCHER J. et al., 1998: A proposal for a general interface between land-surface schemes and general circulation models, Global and Planetary Change.

