

XVII^e Colloque
Association Internationale de Climatologie

Climat, mémoire du temps

Les relations climat – espace – société

8 – 9 – 10 septembre 2004

Mémorial de Caen, France

Actes du colloque

Publiés sous la direction de :

Olivier Cantat
Université de Caen Basse-Normandie
Géophen, UMR 6554 CNRS LETG

Jean-Olivier Gires
Météo France
CDM du Calvados

en hommage à Jean-Paul Trzpit

Couverture : Edwige Savouret et Olivier Cantat

SOMMAIRE

XVII^e Colloque de l'A.I.C. « CLIMAT, MÉMOIRE DU TEMPS... »

Avant-Propos	
<i>O.Cantat, J.-O. Gires, E. Savouret et M.-A. Bühler</i>	003
Météo France et Université de Caen Basse-Normandie : un exemple de coopération scientifique	
<i>J.-O. Gires (Centre Départemental Météorologique du Calvados, Météo France)</i>	005
Introduction au XVII^e colloque de l'A.I.C. « Climat, mémoire du temps... »	
<i>O. Cantat (Géophen, UFR de Géographie, Université de Caen Basse-Normandie)</i>	007
Logos des organisateurs et des partenaires	011
Thème 1 : LA MESURE DU TEMPS ET DU CLIMAT	015
<i>Évolution des sciences et des techniques Critique et interprétation des sources</i>	
Thème 2 : LE CLIMAT : SON ÉVOLUTION ET SES EXCÈS	099
<i>Changement climatique (variation) Variabilité climatique Phénomènes extrêmes</i>	
Thème 3 : CLIMATS, SOCIÉTÉS, PAYSAGES...	241
<i>Connaissance du climat Applications et enjeux de la climatologie</i>	
Table des matières	391
Table des auteurs	397

AVANT PROPOS

Les Actes rassemblent par thème et par ordre alphabétique les résumés élargis des communications orales et des posters dont la présentation est prévue dans le cadre du XVII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, du 8 au 10 septembre 2004 au Mémorial, Musée pour la Paix de Caen (France).

L'Association Internationale de Climatologie (A.I.C.), fondée en 1988, a pour objectif le développement des relations entre les climatologues francophones, notamment par l'organisation annuelle d'un Colloque et par la publication de travaux scientifiques. Depuis l'An 2000, l'A.I.C. est présidée par Wilfried Endlicher, Professeur à l'Université Humboldt de Berlin. Ses Membres sont originaires de plus d'une vingtaine de pays répartis dans le monde entier. L'A.I.C. est la seule organisation francophone qui, dans le domaine de la climatologie, organise régulièrement des manifestations internationales. Les colloques dont la langue de travail est le Français se tiennent alternativement en France et dans un autre pays. Seize colloques ont déjà eu lieu : pour les plus récents, Dakar (1999), Nice (2000), Séville (2001), Besançon (2002) et Varsovie (2003).

Cette année, le Conseil d'Administration de l'A.I.C. a retenu la candidature de Caen (Normandie, France). L'organisation de cette manifestation a été confiée conjointement à l'Université de Caen Basse-Normandie (Laboratoire Géophen, UMR 6554 CNRS, « Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique ») et à Météo France (Centre Départemental Météorologique du Calvados), avec le soutien des Membres du Comité Scientifique du Colloque et du Conseil d'Administration de l'A.I.C.

Le thème général du XVII^e Colloque est :

« Climat, mémoire du temps... »

Les relations climat-espace-société

Les trois principaux sous thèmes qui partagent ces Actes concernent respectivement :

La mesure du temps et du climat (critique et interprétation des sources, évolution de la science et des techniques)

Le climat : son évolution et ses « excès » (changement et variabilité climatiques, phénomènes extrêmes)

Climats, sociétés, paysages (connaissance du climat, applications et enjeux de la climatologie à différentes échelles spatio-temporelles)

À l'issue du XVII^e Colloque de Caen, le 2^{ème} numéro des "Annales de l'A.I.C." sera édité. Cet ouvrage rassemblera un nombre limité de textes mais au format plus long que les Actes de ce Colloque. La publication, soumise à un comité de lecture présidé par Claude Kergomard, Professeur à l'École Normale Supérieure de Paris, témoigne de la volonté de l'A.I.C. de promouvoir une recherche climatologique de qualité en langue française.

À Caen, le 28 août 2004

*Olivier Cantat, Edwige Savouret (Géophen, Université de Caen Basse-Normandie)
Jean-Olivier Gires et Marie-Annick Bühler (CDM 14, Météo France)*

**MÉTÉO FRANCE ET UNIVERSITÉ DE CAEN BASSE-NORMANDIE :
UN EXEMPLE DE COOPÉRATION SCIENTIFIQUE**

Jean-Olivier Gires

Directeur Départemental

Météo France Calvados

e-mail : jean-olivier.gires@meteo.fr

Les relations entre l'Université de Caen Basse-Normandie et les services de la Météorologie sont très anciennes. Elles répondent à des demandes en provenance de nombreuses disciplines rattachées à plusieurs U.F.R. et laboratoires de recherches conduisant des travaux dans le domaine du climat, de l'hydrologie, de la géomorphologie ou de la biologie.

Peu nombreuses dans un premier temps, la mise à disposition de données manquait d'organisation. Au vu de la multiplicité des demandes et compte tenu de l'émergence de disciplines nouvelles telles les sciences de l'environnement, il apparut nécessaire de rationaliser la mise à disposition des demandes. Par ailleurs le développement d'une politique commerciale à Météo France nécessitait de maintenir la gratuité des données afin de ne pas pénaliser les travaux de recherche mettant en œuvre de longues séries de données climatologiques.

En février 1996, une première Convention était signée entre la Direction Interrégionale de Météo France et le Président de l'Université de Caen Basse-Normandie. Cette convention intégrait la *Résolution 40* adoptée à l'unanimité par le 12^{ème} Congrès de l'Organisation Météorologique Mondiale réuni en juin 1995 et qui prévoit que « *les membres doivent mettre gratuitement et sans restriction à la disposition des chercheurs et des enseignants pour leur activité non commerciale, toutes les données et tous les produits échangés sous les auspices de l'OMM* ».

La coopération entre les deux organismes prenait consistance dès l'année suivante par l'écriture d'un logiciel de visualisation des données climatiques du département du Calvados. Ce logiciel écrit conjointement par un doctorant en géographie et un technicien du Centre départemental de Météo France était présenté en 1997 à tous les partenaires ayant soutenu le projet.

Plusieurs projets menés conjointement ont permis à des étudiants en maîtrise ou en doctorat d'aborder des sujets tels que les phénomènes d'érosion du trait de côte, des épisodes climatiques remarquables ou la dynamique des crues dans des bassins versant caractéristiques.

Aujourd'hui, la convention est en cours de reconduction et permettra, au travers du logiciel **CLIMATHÈQUE** (par l'intermédiaire du coordinateur scientifique nommé par l'Université de Caen Basse-Normandie) de s'alimenter directement aux bases de données de Météo France.

Ainsi, de nouveaux domaines d'investigation seront ouverts aux enseignants-chercheurs, aux chercheurs et aux étudiants désireux de mieux connaître des phénomènes locaux et soucieux d'approfondir leurs connaissances en météo dynamique et en climatologie.

**INTRODUCTION AU XVII^e COLLOQUE DE L'A.I.C.
« CLIMAT, MÉMOIRE DU TEMPS... »**

Olivier Cantat

Enseignant-Chercheur, Géographe Climatologue
Géophen, UFR de Géographie, Université de Caen Basse-Normandie
e-mail : cantat@geo.unicaen.fr

Depuis seize ans, les colloques de l'Association Internationale de Climatologie constituent des moments privilégiés pour la communauté des climatologues francophones pour faire le point et s'interroger sur les problèmes actuels liés au climat et à son évolution. Mais, dans le cadre de ce XVII^e Colloque, qu'entendons-nous plus précisément par « **Climat, mémoire du temps...** », thème retenu cette année comme fil conducteur à l'occasion de cette rencontre scientifique ?

Le concept de « mémoire du temps » est synonyme, ici et pour nous, de l'ensemble des connaissances que nous avons des états passés de l'atmosphère. Des temps 'courts', où le chercheur dispose de données chiffrées, aux temps 'longs' qui nous sont accessibles de façon indirecte par de multiples méthodes et techniques faisant appel à d'autres disciplines (archives historiques, étude des pollens et des glaces, par exemple). Cette connaissance des climats du passé est fondamentale car elle permet de mieux comprendre notre climat actuel et d'envisager son évolution... La dynamique du climat est en effet d'une importance capitale pour l'avenir de nos Sociétés : à l'heure actuelle, l'inquiétude est de plus en plus présente en raison de la multiplication d'événements météo climatiques extrêmes, considérés à tort ou à raison comme les premiers signes du *Global Change*. L'ampleur croissante des dégâts occasionnés par les catastrophes d'origine climatique au cours de ces dernières années met aussi l'accent sur le rôle des facteurs anthropiques...

Au-delà de la diversité des thèmes abordés et des espaces géographiques étudiés, l'ensemble des contributions présentées dans ces Actes participe ainsi à un approfondissement de la connaissance des facteurs et processus de la climatologie et de leurs conséquences sur l'Homme et l'Environnement.

Toutes les échelles sont envisagées :

- dans l'espace : des *microclimats* observés dans les vignobles ou dans les rues étroites de nos villes, aux climats locaux – *topoclimats* - liés à des facteurs géographiques d'échelle moyenne (topographie, urbanisation, forêt...), jusqu'aux échelles continentale et planétaire avec les modifications de la circulation atmosphérique générale ;
- dans le temps : par exemple, du coup de vent qui détruit en quelques heures des forêts plus que centenaires, aux temps anciens (et sans mesure...) « vus » à travers des textes d'Homère, jusqu'à la reconstitution des températures sur plus de 800 000 années grâce à l'analyse des bulles d'air emprisonnées dans les glaces polaires.

A partir de ces nombreux constats, des questions majeures se posent sur *le rôle de l'Homme sur le Climat* et inversement sur *le rôle du Climat sur l'Homme* :

- quelle est la part des modifications climatiques provoquées par nos activités polluantes et par la mutation des milieux « naturels » en espaces agricoles ou bâtis... ?
- comment le climat intervient-il sur l'évolution des sociétés humaines... ?

Les 91 articles regroupés dans ce volume des Actes correspondent aux communications orales et aux présentations de posters qui seront proposées durant ce XVII^e Colloque. Ces articles correspondent à la contribution de 174 chercheurs originaires de plus d'une vingtaine de pays répartis principalement en Europe (Allemagne, Belgique, Espagne, France, Italie, Luxembourg, Pologne, Portugal, Roumanie, Suisse...), en Afrique (Algérie, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Maroc, Sénégal, Tunisie...), en Amérique du Sud et du Nord (Brésil, Canada, États-Unis...).

Les thèmes et les espaces géographiques étudiés seront de ce fait très variés. Ils illustrent le fil conducteur proposé pour le Colloque - « *Climat, mémoire du temps...* » - et s'insèrent dans l'un des sous thèmes : *La mesure du temps et du climat ; Le climat : son évolution et ses excès ; Climats, sociétés, paysages...* Ce classement limité à trois rubriques entraîne inévitablement quelques recouvrements thématiques et méthodologiques.

Première thématique : La mesure du temps et du climat

Dans cette première rubrique, 21 articles alimentent une discussion autour de deux thèmes indissociables en amont de toute recherche, *la critique et l'interprétation des sources et l'évolution de la science et des techniques*.

Ces deux thèmes rendent compte de la difficulté du chercheur à s'assurer de la fiabilité des bases de données sur lesquelles il travaille et à partir desquelles il élabore des hypothèses et construit parfois même des modèles. L'ouverture de notre discipline à d'autres sciences permet aussi de croiser l'expérience et la réflexion de chercheurs aux compétences différentes mais très complémentaires des nôtres. La climatologie peut alors constituer pour eux un terrain d'étude passionnant et pour nous un apport indéniable à la recherche. Historiens, philosophes, sociologues... dans le domaine des sciences humaines ; physiciens, chimistes, géologues, hydrologues, glaciologues, biologistes... pour les sciences « scientifiques » ; informaticiens, électroniciens... pour des aspects de haute technicité. Voici autant de profils contribuant, plus ou moins directement, aux progrès de notre discipline, apportant de nouveaux outils, de nouvelles méthodes et façons de pratiquer la recherche.

Les contributions sur l'utilisation des systèmes neuronaux, la modélisation et les données satellitaires sont à ce titre autant de preuves des apports de la pluridisciplinarité, et parfois même l'objet d'une nouvelle spécialisation pour certains d'entre nous qui souhaitent explorer sous un angle différent leur champ d'étude...

Deuxième thématique : Le climat, son évolution et ses excès

Dans cette rubrique, 34 articles traitent de *l'évolution du climat*, avec des contributions qui abordent ce sujet à différentes échelles de temps et d'espace.

En premier lieu, plusieurs auteurs se préoccupent à proprement parler du changement climatique et de ses conséquences, tandis que d'autres s'attachent à des pas de temps plus courts pour mettre en évidence la variabilité climatique. Pour garantir la pertinence des résultats, ces articles font appel à des considérations sur la qualité des données (archives naturelles ou mesures) et pourraient fort bien s'insérer, à ce titre, dans la première thématique...

En relation avec les épisodes météo climatiques « extrêmes » de ces dernières années, de nombreuses études de cas s'interrogent sur les excès du climat. Au-delà du constat, des questions sont posées quant à la responsabilité de l'Homme dans ces manifestations violentes de l'atmosphère et de leur rattachement à une éventuelle modification du climat à l'échelle globale (*Global Change*). Les réflexions sur les conséquences catastrophiques de ces excès d'origine atmosphérique pourraient également justifier un classement dans la troisième rubrique de ces Actes...

Troisième thématique : Climats, sociétés, paysages...

Dans cette troisième rubrique, un ensemble de 36 communications met en valeur *les applications de la climatologie à différentes échelles spatio-temporelles*. Ces articles offrent une réflexion concrète sur *les enjeux de la climatologie*, et traduisent de nombreuses collaborations avec d'autres chercheurs et acteurs soucieux de l'environnement. Cet apport est particulièrement présent aux échelles fines de la climatologie, avec des applications dans les domaines de l'aménagement, du tourisme et de l'agriculture.

À l'autre bout de la chaîne, les données météorologiques et climatiques d'échelle synoptique sont également analysées avec minutie pour interpréter les conséquences environnementales de l'évolution du régime pluviométrique ou, par exemple, pour mieux faire la part des facteurs et processus dynamiques dans l'évolution des marges littorales (interrelations océan-atmosphère)...

Ces contributions appliquées soulignent finalement la nécessité qu'il y a à comprendre la dynamique du climat pour une meilleure gestion de la ressource environnementale et anticiper tout risque « naturel » potentiel.

Plus généralement, quelque soient les lieux et les périodes analysées, ces 91 articles expriment l'apport des approches intégrées, systémiques et multiscalaires. Ils soulignent également l'intérêt des nouvelles techniques de l'image et du traitement de l'information dans notre discipline. En ce sens, la large ouverture des colloques de l'A.I.C. aux jeunes chercheurs est un gage de renouvellement de la recherche en climatologie...

* *
*

Il convient de remercier M. Jean-Pierre BEYSSON, Directeur de Météo France, représenté au Colloque par M. Alain SOULAN (Directeur Interrégional Ouest), pour l'implication de Météo France aux côtés des universitaires pour la valorisation et la diffusion des travaux scientifiques. Et tout particulièrement M. Jean-Olivier GIRES et Mme Marie-Annick BÜHLER, respectivement Directeur et Directrice adjointe du Centre Départemental du Calvados de Météo France, qui ont oeuvré au quotidien dans l'organisation de ce XVII^e Colloque de l'A.I.C.

M. Wilfried ENDLICHER, Professeur à l'Université Humboldt de Berlin, Président de l'A.I.C., M. Pierre BESSEMOULIN, Directeur de la climatologie de Météo France, Trésorier de l'AIC, et M. Vincent DUBREUIL, Maître de Conférences à l'Université de Rennes II, Secrétaire de l'AIC, pour leur disponibilité, le partage de leur expérience et leur soutien permanent.

Mme Nicole LE QUERLER, Présidente de l'Université de Caen Basse-Normandie, représentée par M. Philippe FLEURY, Vice-Président du Conseil Scientifique, pour le soutien de l'Université aux manifestations scientifiques.

M. Jean-Michel CADOR, Directeur du Laboratoire Géophen (Géographie Physique et Environnement, UMR 6554 CNRS LETG), pour avoir accepté d'accueillir dans ses locaux l'organisation pratique du Colloque. Mme Geneviève COUDÉ-GAUSSEN et M. Armel COUDÉ, Professeurs Émérites de

Géographie à l'Université de Caen, pour leurs conseils avisés. M. Robert DAVIDSON, Ingénieur d'Études, et Mme Blandine LE BRIS, Secrétaire, pour leur participation. Mlle Edwige SAVOURET, Allocataire de Recherche en Géographie historique et environnementale, pour sa participation à la gestion du Colloque et la prise en charge des actions de communication (conception du site internet, réalisation de l'affiche du Colloque et du livret-guide de l'excursion sur les Plages du Débarquement).

M. Jacques BELIN, Directeur du Mémorial de Caen, pour l'accueil du Colloque au sein de son Musée, au cours d'une année particulièrement riche en Événements culturels pour la Basse-Normandie (60^e Anniversaire du Débarquement). Mme Véronique DUREL, Assistante Événements Culturels, pour son implication permanente dans la préparation du Colloque.

Mme Brigitte LEBRETHON, Député-Maire de Caen, et ses collaborateurs, pour la participation de la Ville de Caen et l'accueil des congressistes à l'Hôtel de Ville (visite de l'Abbaye-aux-Hommes et réception officielle).

M. Panagiotis MAHÉRAS et M. Pierre CARREGA qui présideront les deux sessions de la 1^{ère} Journée, en présence du public et de la presse, et tous nos autres Collègues qui assureront les Présidences des 17 sessions du jeudi 9 et du vendredi 10 septembre.

M. Wilfried ENDLICHER, Président de l'A.I.C. (Professeur à l'Université Humboldt de Berlin) et les Membres du Conseil d'administration, pour nous avoir donnés l'occasion de mettre en place cette manifestation. Merci donc à M. Pierre BESSEMOULIN (Directeur de la Climatologie de Météo France), M. Habib BEN BOUBAKER (Professeur à l'Université de Manouba, Tunisie), M. Krysztof BLAZEJCZYK (Professeur à l'Université de Varsovie), M. Gerardo BRANCUCCI (Professeur à l'Université de Genova), M. Vincent DUBREUIL (Maître de Conférences à l'Université de Rennes 2), M. Ionel HAIDU (Professeur à l'Université de Cluj-Napoca, Roumanie), M. André HUFTY (Professeur à l'Université de Laval, Canada), M. Claude KERGOMARD (Professeur à l'École Normale Supérieure de Paris), M. Francisco MENDONÇA (Professeur à l'Université de Curitiba, Brésil), M. Jean-Luc PONCHE (Maître de Conférences à l'Université de Strasbourg) et M. Marc VANDIEPENBEECK (Météorologue à l'Institut Royal de Météorologie de Bruxelles).

L'organisation du colloque a bénéficié de l'expérience et du travail des Membres du Comité scientifique que nous avons constitué à cette occasion. Merci également à Mme Maria Joao ALCOFORADO (Professeur à l'Université de Lisbonne), Mme Isabelle ROUSSEL (Professeur Émérite à l'Université de Lille), M. Pierre CARREGA (Professeur à l'Université de Nice-Sophia Antipolis), M. Jean-Michel FALLOT (Chercheur à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne), M. Joël JAN (Responsable de la Climatologie à la Direction Interrégionale Ouest de Météo France), M. Panagiotis MAHÉRAS (Professeur à l'Université de Thessalonique), ainsi que MM. Pierre BESSEMOULIN, Vincent DUBREUIL et Wilfried ENDLICHER déjà cités précédemment en tant que membres du Conseil d'administration de l'A.I.C.

La Maison de la Recherche en Sciences Humaines de Caen Basse-Normandie et son Directeur Philippe FLEURY, pour le premier accueil des congressistes le mardi soir à l'Université de Caen, avec notamment la mise à disposition d'une salle de réunion pour le Conseil d'administration et le prêt de matériel pour l'affichage des posters présentés lors du Colloque.

M. Gérard VAN CAENEGEM et Mlle Edwige SAVOURET pour la préparation et l'animation de l'excursion « D-Day, Today : évolution des plages du débarquement de Normandie », qui aura lieu le samedi 11 septembre (voir site internet : <http://www.unicaen.fr/aic-2004>, rubrique « excursion »). M. Gérard CLOUET de la Direction Régionale de l'Environnement de Basse-Normandie pour son intervention sur le site de la Pointe du Hoc. M. et Mme LEBREC pour leur accueil au Château d'Englesqueville-la-Percée où se déroulera la pause déjeuner de cette excursion.

Et enfin, l'ensemble du personnel du Centre Départemental du Calvados de Météo France, du laboratoire Géophen et de l'U.F.R. de Géographie de l'Université de Caen Basse-Normandie pour leur soutien dans l'organisation du Colloque. Un remerciement tout particulier à Mme Sabine MIRALLÈS pour ses conseils et la gestion de la comptabilité.

L'organisation de ce colloque « *Climat, mémoire du temps...* », la publication des Actes et prochainement des Annales (dans le courant de l'année 2005) a bénéficié de nombreuses subventions de la part de divers organismes et institutions. Nous les remercions pour ce concours qui atteste, au-delà d'une aide matérielle essentielle, de l'intérêt qu'ils portent aux questions liées au climat :

Par ordre alphabétique :

- AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE, DIRECTION DES BOCAGES NORMANDS
- AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (ADEME)
- AGENCE UNIVERSITAIRE POUR LA FRANCOPHONIE (AUF)
- ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE (AIC)
- CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) : section 31, section 39, Délégation Régionale Bretagne Pays-de-la-Loire, Délégation Régionale Normandie
- CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE CAEN (CCI)
- COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION CAEN LA MER
- CONSEIL RÉGIONAL DE BASSE-NORMANDIE
- DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT DE BASSE-NORMANDIE (DIREN)
- LABORATOIRE GÉOPHEN (UMR 6554 CNRS LETG)
- MÉMORIAL DE CAEN
- MÉTÉO FRANCE
- MUTUELLE ASSURANCE DES INSTITUTEURS DE FRANCE (MAIF)
- UMR 6554 CNRS LETG
- UNIVERSITÉ DE CAEN BASSE-NORMANDIE
- VILLE DE CAEN

Enfin, nous ne saurions terminer cette introduction sans remercier très chaleureusement tous les congressistes qui, par la diversité et la qualité des travaux présentés et leur convivialité naturelle assurent chaque année le succès des colloques de l'A.I.C.

* *
*

THÈME 1

LA MESURE DU TEMPS ET DU CLIMAT

Évolution des sciences et des techniques

Critique et interprétation des sources

RÉFLEXIONS SUR L'INFLUENCE DES CLIMATS DANS L'HISTOIRE DES SOCIÉTÉS HUMAINES

P. Acot

Institut d'Histoire et de Philosophie des Sciences et des Techniques
Université de Paris I - Sorbonne, UMR-CNRS 8590

Introduction

Le rôle des changements climatiques au cours de l'histoire est vivement controversé, et ce depuis longtemps. Les enjeux philosophiques sont majeurs : si le climat détermine l'évolution des sociétés humaines, que devient l'initiative des êtres humains et, au fond, leur liberté ? Il convient donc d'être nuancés.

1. En règle générale, les périodes clémentes sont plutôt favorables au développement des sociétés humaines

Ainsi, la bipédie des *Hominidae* et leur développement sont aujourd'hui expliqués par un réchauffement climatique en Afrique de l'Est qui transforma en savane les forêts initiales. Des petits singes initialement arboricoles furent contraints de s'habituer à vivre dans des hautes herbes de la savane et, en conséquence, à se dresser sur leurs membres inférieurs pour s'orienter et surveiller leurs éventuels prédateurs. Les membres antérieurs libérés des contraintes de la locomotion purent être utilisés à d'autres tâches ; le pouce opposable aux autres doigts, caractéristique des primates, autorisa alors des manipulations de plus en plus fines ouvrant la voie à la désormais classique dialectique triangulaire main-outil-cerveau et au développement des capacités cognitives de l'espèce humaine.

Ainsi, un réchauffement vraisemblablement global favorise la néolithisation du monde à partir de 9 000 BP ; de manière comparable, des conditions climatiques clémentes rendent possible les grands défrichements de la période médiévale entre les X^e et XIV^e siècles.

Inversement, les périodes défavorables peuvent jouer un rôle néfaste dans certains cas. Cela a été avancé pour expliquer le déclin de l'Empire Romain : à partir du Bas-Empire, une phase froide et humide s'installe. Les récoltes sont gâtées, les labours sont difficiles et les semences pourrissent avant de germer.

De manière comparable, certains historiens ont tenté d'expliquer l'éclatement de la Révolution française par une succession d'années difficiles au plan climatique à partir de 1782 : froid, gelées tardives, étés pluvieux, jusqu'en 1787 inclus. En 1788, c'est l'inverse, l'été est torride et sec, les récoltes sont « échaudées » et des orages détruisent ou endommagent ce qui reste. En 1789, c'est une nouvelle année difficile : elle est humide et froide. Le souvenir de la grande famine, sous Louis XIV, en 1693-1694 hante la paysannerie. Des révoltes éclatent, des convois de ravitaillement sont pillés. C'est dans ce contexte qu'éclatent les événements de juillet et août 1789.

2. Les facteurs climatiques sont pourtant rarement déterminants

L'exemple de la culture magdalénienne au cœur de la dernière glaciation du Würm (à -18.000 ans) l'atteste, ainsi que les populations Inuit qui ont survécu dans des circonstances climatiques très difficiles jusqu'à nos jours.

Pour ce qui concerne le déclin de l'Empire Romain, l'incompétence et la rapacité des latifundiaires, l'ignorance des esclaves en matière agricole, les araires à socs de bois qui ne labouraient pas assez profond, les terres peu ou mal amendées, l'assolement biennal, la corruption, les despotisme, et les épidémies de typhus, de choléra et de variole - l'ensemble joue un rôle indéniable dans l'effondrement de l'Empire et n'a pas grand'chose à voir avec le climat.

L'état de développement technologique des sociétés humaines doit également être pris en compte : les Vikings du Groënland disparaissent après quatre siècles en raison de la détérioration climatique qui annonce le « petit âge glaciaire » ; pourtant, c'est au cours de cette période (1550-1850) que le commerce transocéanique se développe.

Pour ce qui concerne la Révolution Française, mesurons autant qu'il est possible le poids qu'ont pu peser les idées rousseauistes de liberté, d'égalité et de fraternité...

Enfin, les circonstances politiques peuvent jouer un rôle infiniment plus décisif que les circonstances climatiques : voir les atermoiements de Napoléon lors de la campagne de Russie, les famines qui frappent l'URSS et la Chine. Au Bangladesh, Amartya Sen, prix Nobel d'économie pour ses travaux sur les famines, déclare avoir été frappé par « le caractère absolu de classe » du désastre de la famine de 1943.

Conclusion

Cette problématique peut éclairer d'un jour nouveau le débat actuel sur le changement climatique et les moyens ordinairement préconisés pour émanciper les sociétés humaines de ce qui leur est souvent présenté comme une fatalité catastrophique pour les siècles à venir.

COMPRÉHENSION, PRÉVISION ET MAÎTRISE DU TEMPS SELON LES TEXTES D'HOMÈRE

J. Cuisenier

CNRS, Paris

Introduction

Parmi les textes fondateurs de la culture européenne, l'Odyssée d'Homère est le plus riche en informations sur la manière dont les Grecs de l'antiquité perçoivent le temps et ses changements, dont ils conçoivent les saisons et leurs retours, ressentent et opposent le froid et le chaud, le sec et l'humide, le calme et la tempête. Mais dans quelle mesure se fier au texte d'un poème, surtout si l'on sait qu'il est droit issu de la tradition orale ? C'est la question préalable à traiter : déterminer la portée et les limites des données qu'offre le texte sur le climat à l'époque homérique. Les règles de l'interprétation du texte étant fixées, je pourrai en faire l'analyse de deux points de vue successivement. Je me mettrai d'abord dans la perspective des Grecs eux-mêmes, et je tenterai de restituer leur expérience vécue du temps et d'explicitier leurs catégories d'analyse. Puis je prendrai la perspective de la science contemporaine et de ses différentes disciplines, météorologie, océanographie, archéologie. J'essaierai enfin de tirer les leçons de cette interprétation de l'Odyssée d'Homère en montrant combien la culture informe la perception de ce que nous nommons aujourd'hui le climat. Pour ce propos, je m'appuierai sur les travaux les plus récents consacrés à l'Odyssée, d'une part, sur les résultats que j'ai obtenus au terme de deux expéditions menées en voilier sous le patronage du Centre national de la recherche scientifique et du Musée national de la marine, en 1999 et en 2000, d'autre part.

1. Interpréter les textes d'Homère

Deux traditions s'opposent, depuis le V^e siècle, pour l'interprétation des poèmes homériques. Pour l'une, qu'illustrent en particulier les philosophes, ce ne sont que des fictions, des œuvres d'imagination, les produits d'une pure élaboration poétique. L'important alors n'est pas la mention de lieux propres au mouillage des navires, ou, au contraire, les mises en garde sur des parages à éviter, ni les descriptions du ciel et les récits de tempêtes. L'important, pour cette ligne d'interprétation, est la logique narrative et les enseignements que celle-ci comporte pour les relations entre les hommes et les dieux, les rapports entre Grecs et non-Grecs, et pour les rapports entre les hommes et les femmes, les êtres humains et les êtres de la nature, animaux, végétaux, minéraux, corps célestes, feux souterrains. L'autre tradition d'interprétation, aussi ancienne que la première, invite au contraire à considérer le poème comme plein d'enseignements sur les lieux qu'il cite, les routes que suivent les navires, les manœuvres qu'ordonnent les capitaines, les endroits propres à faire escale, les coutumes des peuples que rencontrent le héros et ses équipages.

En deux millénaires et demi, ni l'une, ni l'autre de ces deux traditions ne l'a définitivement emporté. Tout au long de la seconde moitié du XX^e siècle, cependant, l'interprétation des poèmes homériques comme de grandes œuvres de fiction a prévalu. Les progrès de l'archéologie sur des sites homériques comme Troie, Ithaque, Pylos, les Îles Éoliennes, les cités du Latium invitent maintenant à rouvrir le dossier à neuf, et pour le dire en bref, à lire le texte en marin. C'est ce que je voudrais maintenant tenter.

Que dit donc ce vieux poème des notions que nous groupons aujourd'hui sous le nom de « climat » ?

2. Les mots pour le dire : sensations, perceptions, notions

La langue d'Homère est riche, concrète, parfois très difficile à comprendre car le poète, ou les poètes qui se groupent sous le nom générique d'Homère du VIII^e au VI^e siècle, use parfois de mots qui n'apparaissent que cette seule fois-là dans toute la langue grecque, les hapax. Tout un travail est donc nécessaire pour découvrir, sous le mot, le champ sémantique qu'il évoque et le sens qu'il vise, sous la

designatio, le designatum. Un exemple : j'ai relevé pas moins de huit termes différents pour désigner la mer, selon que l'on vise « les eaux marines en général », par opposition aux eaux qui tombent du ciel ou qui coulent sur la terre ; « l'eau salée de la mer », non potable, par opposition à l'eau douce, consommable ; « la mer salée », par opposition à ces mers d'eau douce que sont les grands lacs ; « le milieu marin », par opposition aux terres, au milieu terrestre ; « l'immensité de la mer », ce milieu si long à traverser ; « la haute mer », celle qui sépare, qu'il faut traverser à risque ; « les routes humides de la mer », les routes maritimes, par opposition aux itinéraires terrestres ; « les routes des poissons », les itinéraires que suivent les bancs de poissons dans leurs migrations, et, à leur suite, les navires. Pareillement, la langue homérique ne distingue pas moins de cinq « états » de la mer, qui visent la configuration physique et visuelle que prennent les eaux marines.

Le vocabulaire des vents n'est pas moins riche. En grec homérique, un terme, anémos, désigne le vent en général, le « souffle » ou « flux » d'air ; un autre, au pluriel, aètai, désigne « les vents », en tant qu'ils peuvent souffler de directions diverses ; un verbe, aèmi, désigne l'action de « souffler » comme quelqu'un qui souffle sur une flamme, et produit un flux d'air orienté ; un autre, pnéô, veut dire « exhaler » un souffle, extraire de l'air comme d'un poumon ou d'un soufflet ; un verbe dérivé, epipnéô, signifie précisément « souffler un vent sur un navire de sorte qu'il se dirige vers une direction donnée » ; et un autre terme, ouros, désigne « un flux de vent régulier et favorable ».

Instrument d'une expérience et d'une réflexion très élaborée, la langue homérique différencie encore les vents selon une combinaison de deux traits : les aires ou régions du monde d'où ils soufflent, et les caractères physiques qu'ils présentent. Elle distingue ainsi quatre « vents » à qui elle attribue à chacun un nom propre qui résume la conjonction de ces traits. Ce sont Boreas, le vent du secteur nord, froid, et fort ; il souffle de nord-est en mer Egée, de nord-ouest en mer Adriatique et en mer Ionienne ; Euros, le vent de secteur sud-est, chaud et sec, brûlant ; Notos, le vent de secteur sud, humide et pluvieux ; Zephuros, le vent de secteur ouest, violent en mer Ionienne, plus léger en mer Egée.

Les textes ne sont pas moins précis au sujet des phénomènes météorologiques concernant les gens de mer. Le vocabulaire distingue des degrés de force et des caractéristiques relatives aux événements qui se passent dans le ciel. Il annonce en quelque sorte ce qui deviendra l'échelle de Beaufort. Ce sont en effet aër, la brume ou le léger brouillard de beau temps, qui rend visible l'air du ciel ; oimichlè, le brouillard épais, lourd, dans un ciel sans vent ; néphos, le nuage gris ou noir, annonciateur d'obscurité et gros de vent ; néphèlè, le nuage noir épais, chargé d'orage et d'éclairs, couvrant la terre d'obscurité ; aella, le fort coup de vent ; thuella, la tempête de vent très fort, avec pluie ; lailaps, la tempête orageuse, avec tourbillons de vent et déversement d'importantes quantités d'eau, la trombe.

Selon que ces phénomènes prédominent ou non dans le temps calendaire, la mer est considérée comme navigable ou non. De là résulte une partition de l'année en deux saisons comportant, l'une, une avant-saison, l'autre, une arrière-saison, selon le genre de navigation auquel les navires et les équipages se livrent : de mi-avril à fin mai, le temps est navigable, mais avec des risques ; du début juin à la fin juillet ou au début d'août, la saison est bonne pour la navigation ; de la mi-août au début de septembre, le temps est navigable mais avec des risques. C'est ainsi qu'un navire en expédition lointaine n'entreprendait une navigation de retour que s'il était sûr de rentrer à son port d'attache avant la mi-septembre. Sinon, il lui fallait hiverner, comme Ulysse chez Circé.

3. Ce que donnent à comprendre, du texte homérique, l'archéologie, la météorologie et l'océanographie

Plusieurs questions sont ici à distinguer. J'en retiendrai quatre :

1- Les lieux dont parle Homère et à qui sont attribuables tel ou tel épisode météorologique sont-ils identifiables ? Pour tout ce qui concerne la Méditerranée orientale, la mer Egée et la mer Ionienne, la réponse est affirmative. Par exemple, la tempête subie par le héros de l'épopée au retour de son expédition chez les Kikones, en Thrace, s'est passé en mer Egée, entre Thasos, Skyros et l'Eubée. Pour tout ce qui concerne la Méditerranée occidentale, la mer Adriatique et la mer Tyrrhénienne, les localisations sont incertaines, car les escales du héros sont caractérisées non par des lieux, mais par les traits culturels des

peuples qui habitent ces lieux. En revanche, plusieurs de ces escales, celles des Cyclopes, des Eoliens, des Lestrygons, de Circé et des Kimmériens, forment un système culturel bien localisable en mer Tyrrhénienne. On peut donc raisonnablement attribuer à cette mer les phénomènes météorologiques décrits dans le poème, en particulier ceux qui sont associés au nom d'Eole, « maître et régisseur des vents », une figure mythologique dont le prototype historique est maintenant bien identifiable.

2 - Les mers, les détroits et les îles où se déroulent les tempêtes homériques sont-ils bien les mêmes que ceux et celles qui portent le même nom aujourd'hui ? La question est controversée pour un certain nombre de lieux, mais la réponse est globalement : oui. L'Ithaque dont parle Homère est bien l'Ithaque d'aujourd'hui, les îles de Ténédos, de Thasos, de Skyros sont bien les mêmes, les Eoliennes aussi. Plus important : les courants et les vents qui règnent au Cap Malée, aux abords de la Troade et du Bosphore, au détroit de Sicile sont bien ceux que décrits le poète.

3 - L'environnement physique en Méditerranée orientale et en Méditerranée occidentale a-t-il changé au point d'interdire toute transposition des observations faites dans les temps contemporains à la situation prévalant dans les temps antiques ? La réponse à donner est nuancée. Les lignes de rivage ont changé en raison de l'érosion, des tremblements de terre, de l'alluvionnement, mais non au point d'altérer substantiellement le régime des courants et encore moins celui des vents. Quant au niveau de la mer, on admet généralement qu'il s'est élevé d'un mètre environ par millénaire, soit de trois mètres depuis les temps homériques : ce qui est suffisant pour que le paysage que nous voyons aujourd'hui du site de Troie ne soit pas le même que celui que les Grecs et les Troyens voyaient ; mais ce qui n'est pas suffisant pour que le régime des courants et des vents régissant la navigation aux abords du Bosphore ait changé.

4 - Les routes attribuées aux héros de l'épopée pour se rendre à Troie et pour en revenir sont-elles crédibles en termes nautiques ? Peut-on donc faire foi aux informations océanographiques et météorologiques que livre le poème ? Pour la Méditerranée orientale, la réponse est catégoriquement oui : j'ai pu reconstituer les « journaux de bord » de Nestor, de Ménélas, d'Ajax, de Diomède et d'Ulysse et les confronter aux Instructions Nautiques et à mes propres journaux de bord sur les mêmes routes, sans avoir à leur apporter de correction aucune. Pour la Méditerranée occidentale, la précision n'est pas du même ordre, mais les indications par zones sont cohérentes, et certains détails, comme ceux qui sont relatifs à Charybde et Skylla, d'une exactitude surprenante. Tout incite donc à rendre crédibles les informations météorologiques et océanographiques fournies par Homère ; mieux : à les considérer comme des sources infiniment précieuses sur la conception du temps aux origines de notre civilisation.

Conclusion

Les textes homériques nous invitent à tirer parti des connaissances empiriques accumulées par ces usagers spécialisés de l'environnement marin que sont les navigateurs. Ulysse et ses équipages sont de véritables experts, des hommes attentifs, par fonction, aux plus petites nuances affectant les états changeants du temps. Toujours, ce sont des situations concrètes qu'ils cherchent à saisir, dans leur globalité. Toujours, à cette fin, ce sont les capacités de tous les sens qu'ils mobilisent. Toujours, c'est à une logique de l'interprétation des signes qu'ils recourent. Toujours, ce sont à des lieux précis et concrets qu'ils mettent cette logique à l'épreuve. Et toujours, c'est à l'évolution de cas particuliers qu'ils valident leurs prévisions. En une époque, la nôtre, où le talent des prévisionnistes compétents pour des régions ou des bassins maritimes particuliers cesse d'être sollicité, il n'est probablement pas inutile de rappeler la valeur irremplaçable d'une connaissance concrète et approfondie des lieux.

Non, donc, un climat ne se réduit pas à un système de variables physiques liées entre elles par des relations complexes et modélisables. Non, un climat ne se résume pas non plus à une somme de sensations variant d'individu à individu. Un climat est une construction culturelle, la notion qu'une société prend des règles régissant les changements du temps dans l'environnement qui lui est propre.

L'ÉVOLUTION DE LA CLIMATOLOGIE PENDANT LE DERNIER DEMI-SIÈCLE

A. Douguedroit

Institut de Géographie, UMR 6012 ESPACE, Université de Provence

e-mail : annick.douguedroit@up.univ-aix.fr

Résumé : La climatologie a pris son essor après 1950 et a évolué dans le temps. Elle est passée de la science des états de l'atmosphère à celle du changement climatique.

Mots-clés : Evolution de la climatologie, Etats de l'atmosphère, Système climatique

Abstract: Climatology has expanded from the middle of the last century and has changed along the time. It has been modified from the science of the states of the atmosphère to the science of the climate system.

Key words: Evolution of climatology, States of the atmosphère, Climate system

Introduction

Il ne s'agit pas ici de la climatologie historique ni de la paléoclimatologie mais de la climatologie instrumentale (mesure directe des éléments climatiques par des instruments). Une telle climatologie date d'environ un siècle et demi (on fait en général remonter à 1860 le début des mesures à l'échelle mondiale). La période commençant en 1950 a été choisie car elle voit l'éclosion de la climatologie et, à la fin du XX^e siècle, sa projection sur le devant de la scène scientifique. Mais un tel développement ne va pas sans modification du paradigme scientifique du climat. La climatologie, science des états de l'atmosphère, avec ses prolongements appliqués est devenue celle du système climatique, la science des connections avec l'atmosphère, stimulée par la problématique du changement climatique et l'extraordinaire croissance des nouvelles technologies.

Cette histoire de la climatologie, en particulier ces dernières décennies a peu intéressé les climatologues et les historiens de sciences (Olivier et Fairbridge, 1987, Douguedroit, 2003).

1. La climatologie au milieu du XX^e siècle : la science des états de l'atmosphère

Dans la première moitié du XX^e siècle, la climatologie s'est détachée de la météorologie en se sens qu'elle a cessé d'être étudiée par des météorologues et qu'elle a affirmé son propre paradigme. La climatologie est la science des états de l'atmosphère. Une telle définition que l'on fait généralement remonter au traité de climatologie de Hann (1882) se présente sous deux formes, l'une renvoyant « à l'état moyen de l'atmosphère », l'autre à « la série des états de l'atmosphère ». Celle-ci a été reprise et développée par un certain nombre de climatologues parmi lesquels nous retiendrons, par commodité, le plus souvent cité par la communauté française, M. Sorre (1934) : « le climat est la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ».

La première définition colle au besoin de classification des climats développé par l'exploration de la terre ; elle prend en compte une valeur unique et correspond à l'état d'évolution des méthodes et techniques de calcul au début du XX^e siècle. Elle persiste en recherche comme « état de référence » (c'est la « climatologie » de certains physiciens de l'atmosphère) ou dans les manuels universitaires de premier cycle.

La seconde définition sensible aux écarts à la moyenne mène droit à la notion beaucoup plus riche de variabilité climatique. Elle va elle-même trouver son expression dans deux directions, qui vont s'opposer dans les milieux scientifiques, les climatologies appelées séparative ou analytique d'une part, et compréhensive ou synthétique de l'autre.

La climatologie appelée séparative repose sur l'étude des éléments climatiques pris un à un. Ceux-ci étant représentés par des séries en chiffres, la modélisation statistique s'est imposée peu à peu pour leur traitement. Peggy (1947), en même temps que certains anglo-saxons, l'avait montré, sans être suivi en France aussi vite

que dans d'autres pays où les climatologues ont tiré beaucoup plus tôt parti des ordinateurs et, par voie de conséquence, des techniques statistiques. L'O.M.M. (Organisation Météorologique Mondiale) a pris ainsi position sur une nouvelle définition du climat : « la probabilité statistique d'occurrence de divers états de l'atmosphère en un lieu ou une région au cours d'une certaine période civile » (Gibbs, 1987).

La climatologie « compréhensive » stricto sensu, qui vise à une prose en compte globale du climat, fut le fait des soviétiques et cantonnée à son pays d'origine, peut-être à cause du caractère complexe de son élaboration. En France et dans les pays anglo-saxons, les climatologues s'orientèrent vers une tentative parallèle qui eut, à son époque, beaucoup plus de succès, celle des « types de temps » appelée parfois climatologie synthétique (Pédelaborde, 1957). Ces types de temps représentent l'état de l'atmosphère à un moment donné. Ils reposent, à la fois sur une description du temps à l'échelle régionale et sur son « explication » par la circulation atmosphérique à une échelle plus vaste, ce qui a amené les Français, mais ils furent les seuls à le faire, à distinguer « types de temps » et « types de circulation ». Ils ont représenté pour nombre de climatologues, aussi bien en Europe occidentale qu'en Amérique du Nord, la clef de voûte de la climatologie pendant le troisième quart du XX^e siècle (Douguédroit, 2004, Vigneau, 2004). La « climatologie appliquée » se développe simultanément. Nous retenons ce terme pour représenter l'implication du climat dans la santé et les activités humaines, implication qui a amené le développement de sciences spécifiques (bioclimatologie humaine, agroclimatologie etc.). Même si la climatologie appliquée eut des pionniers comme M. Sorre (1934), la prise de conscience des impacts climatiques se développa surtout dans cette seconde moitié du XX^e siècle sous l'impulsion des Anglo-saxons. On est passé ensuite à la notion de coût des impacts du climat, en particulier de ses écarts violents, notion très vite intégrée dans la vie économique de certains pays comme la Nouvelle-Zélande. En 1979 la climatologie est officiellement reconnue comme science autonome par rapport à la Météorologie par l'O.M.M. qui lance le Programme mondial de recherche sur le climat et organise la Conférence sur le Climat et l'homme (Climate and Mankind).

2. La climatologie à la fin du XX^e siècle : la science du Système climatique

Les études des états de l'atmosphère ont progressivement cessé de considérer ce milieu comme fermé à des influences autres que solaires. L'irruption des téléconnexions entre océans et précipitations des continents tropicaux ont poussé à une réflexion sur l'influence exercée sur l'atmosphère par son substratum. L'application de la théorie des systèmes au cas de l'atmosphère amène l'émergence du concept de « système climatique ». Celui-ci représente le fonctionnement des échanges entre ses cinq composantes : atmosphère, hydrosphère, cryosphère, biosphère et lithosphère. Il est ouvert aux influences de l'espace (soleil), de la planète (tectonique et volcanisme) et des êtres humains (modifications imposées aux 5 composantes du système, en particulier l'atmosphère elle-même). Le fonctionnement de ce système relève de la physique qui a développé les modèles de circulation générale puis les modèles couplés couplés avec l'océan auquel s'ajoute actuellement le substratum continental. Le climat devient alors, comme l'écrivait Gates en 1979, « la description complète du système climatique interne pendant une période particulière. Il s'agirait alors de définir les états du système climatique à différents pas de temps ». Une telle définition du climat reste hors de portée des connaissances actuelles mais s'impose comme objectif pour l'avenir.

Une telle conception du système climatique dynamisée aussi par la perspective du changement climatique (IPCC, 2001) et associée au développement des nouvelles technologies a renouvelé les études de climatologie dans les domaines thématiques et spatial. A partir des données stationnelles et (ou) des sorties de la modélisation physique de l'atmosphère ont été élaborées de vastes bases de données climatiques, mondiales pour certaines (NOAA, USA ; CEPMT, RU par exemple). Leur accessibilité par le web ainsi que leur gratuité a généralisé récemment leur emploi, en particulier celui des séries récemment corrigées (dites réanalysées). Ces bases de données, à différents niveaux de l'atmosphère, se présentent sous forme de grilles régulières en fonction de la latitude et de la longitude. Même avec des résolutions grossières, elles représentent, par rapport au milieu du XX^e siècle, une croissance exponentielle des données utilisables qui se combine à l'augmentation elle-même exponentielle des moyens de calcul disponibles sur les ordinateurs. A tel point d'ailleurs qu'un certain nombre de travaux procèdent en deux étapes, dont la première consiste en une simplification des données. Contraintes par les mailles des bases utilisées, les recherches concernent une échelle spatiale assez vaste et peinent à descendre au niveau régional.

Simultanément de nouveaux moyens d'observation de la terre commencent à permettre de substituer

l'observation de champs spatiaux continus à celle de points (de stations de mesures ou de champs de grille interpolés). La télédétection, sous forme de radars ou de satellites, suscite beaucoup d'espoir. L'interprétation des mesures en termes de variables climatiques, comme les pluies, va en s'améliorant.

La problématique du changement climatique associée aux nouvelles technologies a propulsé de nouveaux types de recherches. Elle a stimulé les études diagnostiques sur les types de circulation qui se sont, de fait, substituées à celles relatives aux types de temps (Douguédroit,2004) et sur les téléconnexions entre océans et continents à partir essentiellement d'indices comme ceux de l'ENSO ou de l'ONA. Elle a aussi fait à la fois se retourner vers un passé récent, celui du XX^e siècle, pour y rechercher d'éventuelles amorces du changement climatique et se projeter dans l'avenir à partir des scénarios sortis des modèles de circulation générale contraints par l'accroissement des gaz à effet de serre (IPCC, 2001).

Simultanément les sciences que nous avons associées plus haut dans la climatologie appliquée ont continué à se développer, tout en subissant les effets de la problématique des impacts à venir du changement climatique. D'où des études transdisciplinaires, essentiellement développées dans le monde anglo-saxon à partir des scénarios climatiques pour ce siècle (IIASA : International Institute for Applied Systems Analyses par exemple).

En même temps les recherches sur le climat ont vu éclater leur diffusion et ont même atteint les medias. Alors qu'elles étaient jusqu'alors publiées dans les revues de météorologie, elles disposent maintenant de revues de climatologie (la première étant le « Journal of Climatology » lancé en 1983 par S. Gregory). Se créent également des conférences régulières spécifiques comme l'« International Meeting on Statistical Climatology » sous l'impulsion d'A. Murphy en 1980, celles de l'« Association internationale de climatologie » lancée par A. Douguédroit et, au sein de l'Union Géographique Internationale, les premiers groupes de travail puis la Commission de climatologie » en 1989 avec M.M. Yoshino. Enfin l'O.N.U. et l'O.M.M. créent en 1989 le G.I.E.C. (Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Changement climatique). Le souci du climat a même débordé la sphère scientifique vers le domaine de la vulgarisation via les médias, du moins à l'occasion de phénomènes exceptionnels comme tempêtes et inondations à propos desquels est posée se façon plus ou moins contestable l'hypothèse d'une relation avec le changement climatique.

Conclusion

La climatologie, à l'orée du XXI^e siècle, a l'ambition de devenir la science de la description et de l'interprétation du changement climatique, même si sa réalisation n'est que partielle. Elle est également devenue, par la prise de conscience de l'inéluctabilité du changement climatique, un enjeu majeur pour les sociétés humaines.

Références bibliographiques

- DOUGUEDROIT A.,2003 : L'évolution de la climatologie in Per ricordare Mario Pinna, P. Ghelardoni ed., Memorie Soc. Geo. Italiana, LXX,27-43.
- DOUGUEDROIT A.,2004 : Quelle « exception française » en matière de « Types de temps » ? Norois, sous presse.
- GATES W. L., 1979 : The physical Basis of Climate in Proceedings of the World Climate Conference, Geneva,12-23/02/1979, W.M.O., 537 ; 112-131.
- HANN J.,1882 : Handbuch der Klimatologie, Wien, 764p.
- I.P.C.C., 2001 : Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 944p.
- OLIVIER E. and FAIRBRIDGE R. W., 1987 : Encyclopedia of Climatology, in Encyclopedia of Earth Sciences Series, XI, Van Norstrand Reinhold, New-York,980 p.
- PEDELABORDE P., 1957 : Le climat du Bassin parisien. Essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique, Paris, 539p., Atlas.
- SORRE M., 1934 : Introduction in Piery M. et al., Traité de climatologie biologique et médicale, I, 2.
- VIGNEAU J.P., 2004 : Un siècle de « Types de temps » : épistémologie d'un concept ambigu, Norois, sous presse.

APPROCHE PROBABILISTE DE L'ÉVOLUTION FUTURE D'UN CLIMAT OCÉANIQUE À DÉGRADATION CONTINENTALE

G. Drogue, P. Matgen, L. Hoffmann et L. Pfister

CREBS, Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann, 162a, Avenue de la Faïencerie
L-1511 Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg
e-mail : drogue@crp.gl.lu

Résumé : L'objectif de cette étude est d'appliquer, à des fins hydrologiques, une méthode de génération probabiliste d'un grand nombre de scénarios climatiques s'appuyant sur le générateur de scénarios climatiques régionaux MAGGIC/SCENGEN. L'horizon temporel long terme 2070-2099 sert de fil conducteur à l'étude. Les variations saisonnières de température et de précipitation issues de MAGGIC/SCENGEN, moyennées aux points de grille 45-50°N – 05-10°E et 50-55°N – 05-10°E, sont ensuite appliquées selon un critère simple de proportionnalité à des séries climatiques observées au cours des trois dernières décennies au Grand-Duché de Luxembourg.

Mots-clés : scénario climatique, incertitude, climat océanique dégradé, Grand-Duché de Luxembourg

Abstract: This paper aims at generating climate scenarios for hydrological purposes, on the basis of the MAGGIC/SCENGEN climate scenarios generator providing climate projections for the end of the 21st century. The average seasonal variation of air temperature and rainfall given by MAGGIC/SCENGEN on grid boxes 45-50°N – 05-10°E and 50-55°N – 05-10°E are proportionally applied to observed climate series recorded during the three last decades in the Grand-Duchy of Luxembourg.

Key-words: climate scenario, uncertainty, semi-oceanic climate, Grand-Duchy of Luxembourg

Introduction

Un faisceau de présomptions tend à indiquer que les hydrosystèmes continentaux européens seront sujets à court terme aux effets d'un réchauffement climatique planétaire significatif, induit par un effet de serre additionnel anthropogénique. Les conséquences possibles, à défaut d'être garanties, de ce changement climatique, doivent donc être appréhendées pour mieux en anticiper les effets et orienter les politiques d'aménagement du territoire en zone inondable. Dans cette optique, un large panel de scénarios climatiques, valable pour le climat océanique dégradé de la région du Luxembourg a donc été conçu, dans le but d'évaluer l'évolution future de l'aléa hydrologique sur les cours de l'Alzette et de la Sûre, principaux tributaires luxembourgeois de la Moselle.

1. Lois de distribution du réchauffement climatique planétaire annuel

Plusieurs sources d'incertitude sont susceptibles d'affecter la fourchette de variation future de la température moyenne annuelle planétaire : le type de modèle de circulation générale atmosphérique (MCGA), le type de scénario d'émission, la sensibilité climatique, l'intensité de la CTH, etc. Dans une récente publication fondée sur le troisième rapport d'avancement (TRA) et le Special Report on Emission Scenarios du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) (IPCC, 2001), Wigley et Raper (2001) ont établi plusieurs fonctions de densité de probabilité (fdp) associées au réchauffement climatique planétaire annuel. La fdp de type log-normal incorporant les sources d'incertitude précitées a été reprise pour cette étude. Quelques percentiles caractéristiques en sont donnés dans le tableau 1.

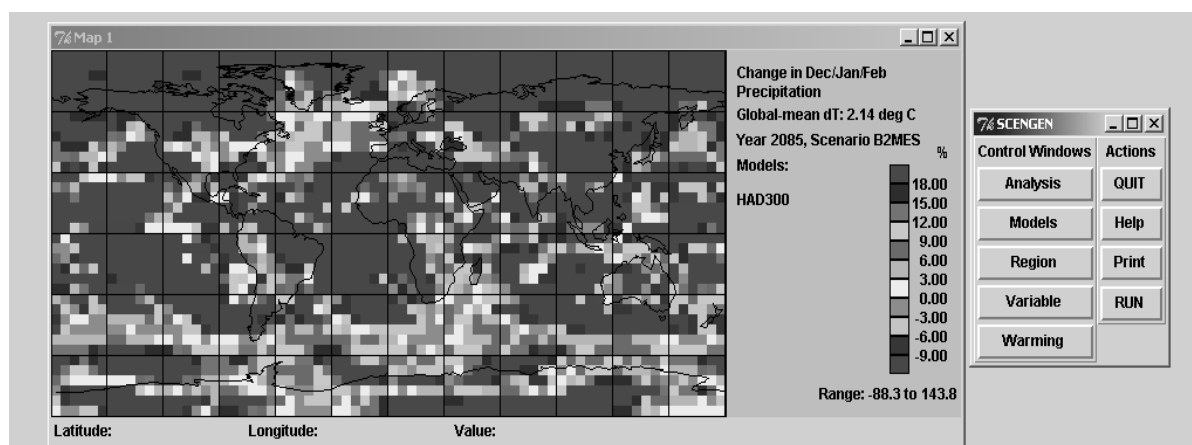
Tab. 1 : Percentiles de l'élévation de la température moyenne planétaire (en °C) à l'horizon 2100 par rapport à la décennie 1990 dérivée d'une loi de distribution log-normale incorporant les incertitudes de simulation climatique (adapté d'après Wigley et Raper, 2001).

		Percentile						
Type de fdp	Horizon	1%	5%	25%	50%	75%	95%	99%
Log-normal	2100	1.29	1.68	2.42	3.06	3.78	4.87	5.61

2. Variabilité régionale des projections climatiques à l'horizon 2070-2099

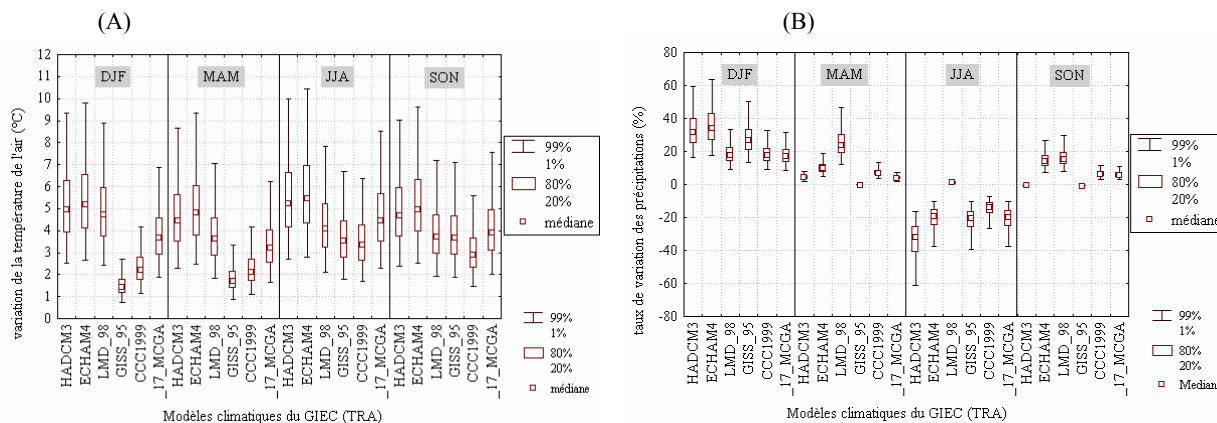
Pour quantifier la sensibilité régionale des MCGA en fonction de la fdp du réchauffement climatique planétaire, le générateur de scénarios climatiques régionaux MAGGIC/SCENGEN (Wigley, 2003) a été mis en oeuvre. Il fournit pour différents points de grille la variation attendue, à différentes échéances, des températures et des précipitations mensuelles à l'échelle de mailles de 5° par 5° (fig. 1) pour les 17 MCGA inclus dans le Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), fonctionnant tous en mode transitoire et supposant une élévation de 1 % par an de la concentration en CO2 atmosphérique (Covey et al., 2003).

Fig. 1 : Exemple de distribution régionale du taux de variation des précipitations du trimestre hivernal à l'horizon 2100 (MCGA HadCM3) fourni par MAGGIC/SCENGEN.



Les projections de température et de précipitation à l'horizon 2100 issues de SCENGEN de quelques MCGA pris individuellement (HadCM3, LMD, ECHAM4, CCC, etc.), ainsi que l'intégration moyenne des 17 MCGA inclus dans le CMIP, ont ensuite été normalisées par l'accroissement de la température moyenne annuelle planétaire donnée par le MCGA MAGGIC pour obtenir des variations par saison et par degré Celsius de réchauffement climatique annuelle. Celles-ci ont ensuite été mises à l'échelle à partir d'une procédure de type Monte-Carlo, en tirant aléatoirement 10 000 valeurs de température dans la fdp du réchauffement climatique planétaire annuel du Tableau 1.

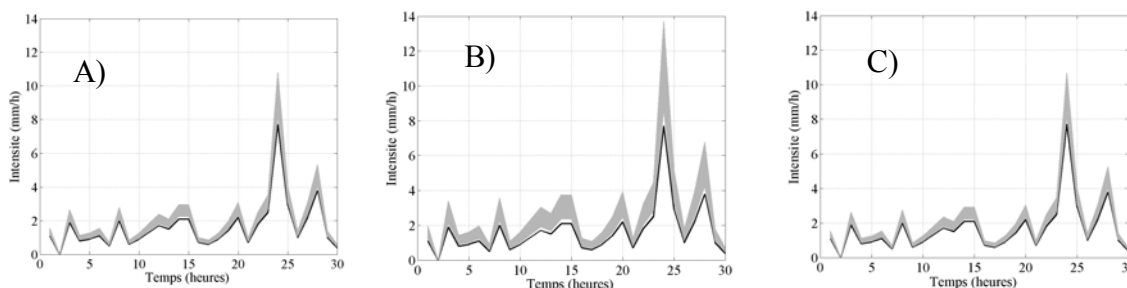
Fig. 2 : Boîtes à moustaches des 10 000 variations saisonnières de température (A) et de précipitation (B) par rapport à la normale climatique 1961-1990 annoncées par les MCGA du TRA du GIEC à l'horizon 2070-2099 (moyenne aux points de grille 45-50°N – 05-10°E et 50-55°N – 05-10°E) en supposant une loi de distribution log-normale du réchauffement climatique planétaire.



3. Application de la méthode des perturbations aux données climatiques in situ

Les scénarios climatiques ainsi générés à l'échéance 2070-2099 ont été désagrégés selon la méthode des perturbations (par exemple Ducharme et Déqué, 2003) et appliqués à des séries de températures décennales et de précipitations horaires enregistrées à la station synoptique de Luxembourg-aéroport. La méthode des perturbations consiste à perturber les séries climatiques issues d'observations récentes, par des perturbations représentant le changement climatique, et basées sur les différences de climat simulées par les MCGA. Sur la base des projections de la figure 2, les perturbations ont été additives dans le cas de la température de l'air et multiplicatives dans le cas des précipitations. Précisons qu'en dépit des nombreux travaux réalisés sur le thème de la désagrégation d'échelle (downscaling en anglais), rien ne permet de connaître avec précision comment la structure et l'intensité des épisodes pluvieux vont évoluer d'ici la fin du siècle à haute résolution temporelle (cumuls horaires).

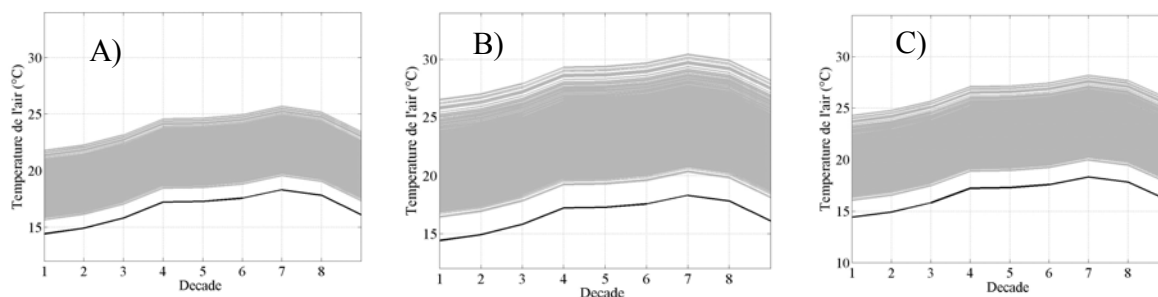
Fig. 3 : Evolution des intensités pluviales horaires de la séquence du 21 au 23 janvier 1995 à la station synoptique de Luxembourg-aéroport. Cumuls observés (noir) et perturbés (gris) par 10 000 projections basses (MCGA CCC, A), 10 000 projections hautes (MCGA ECHAM4, B) et 10 000 projections moyennes (17 MCGA, C).



Néanmoins, appliquée aux hyétogrammes horaires, la méthode des perturbations suppose un accroissement des intensités consécutif à l'augmentation des cumuls mensuels moyens, ce qui n'est pas en désaccord avec ce qui a été observé depuis le milieu des années 70 au Luxembourg au cours du semestre hivernal (Pfister et al., 2004). Pour illustrer l'impact des scénarios climatiques désagrégés sur les hyétogrammes horaires, la séquence fortement pluvieuse du 21 au 23 janvier 1995 a été prise pour

exemple en ne retenant que trois hypothèses de changement climatique (basse, moyenne, haute) sur la base des variations log-normales de la figure 2 (fig. 3). Pour les températures décennales, ce sont les températures moyennes décennales estivales de la période 1971-2000 observées et perturbées, à nouveau selon trois hypothèses de changement climatique, qui servent d'exemple (fig. 4).

Fig. 4 : Evolution des températures décennales estivales moyennes 1971-2000 observées à la station synoptique de Luxembourg-aéroport (noir) et perturbées (gris) en considérant 10 000 projections basses (MCGA CCC, A), 10 000 projections hautes (MCGA ECHAM4, B) et 10 000 projections moyennes (17 MCGA, C).



Conclusion

La perturbation de données climatiques observées selon un grand nombre de scénarios climatiques générées par une démarche d'incertitude probabiliste nous a permis de produire un grand nombre de tendances climatiques possibles assorties d'une probabilité d'occurrence donnée, ce qui devrait permettre de connaître l'évolution future du risque inondation et des incertitudes liées à son estimation.

Références bibliographiques

- Covey, C., AchutaRao, K.M., Cubasch, U., Jones, P.D., Lambert, S.J., Mann, M.E., Phillips, T.J., Taylor, K.E., 2003. An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). *Global and Planetary Change* 37, 103–133.
- Ducharne, A., Déqué, M., 2003. Le bassin de la Seine face au changement climatique : comparaison de deux scénarios climatiques. *Rapport d'activité 2002, Programme PIREN-Seine*, 22 p.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2001. *Climate change 2001. The scientific basis*. McCarthy J.J. et al. (Eds), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1000 p.
- Pfister, L., Drogue, G., El Idrissi, A., Iffly, J.-F., Poirier, C., Hoffmann, L., 2004. Spatial variability of trends in the rainfall-runoff relationship: a mesoscale study in the Mosel basin. *Climatic Change* (sous presse)
- Wigley, T.M.L., 2003. *MAGGIC/SCENGEN 4.1: user manual*, 24 pp.
- Wigley, T.M.L., Raper, S.C.B., 2001. Interpretation of high projections for global mean warming. *Science* 293, 451-454.

ANALYSE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE INTERANNUELLE EN RÉGION DE PAYSAGE HÉTÉROGÈNE (BRETAGNE) À PARTIR DE SYNTHÈSES MENSUELLES NDVI À BASSE RÉOLUTION

V. Dubreuil, R. Lecerf et L. Hubert-Moy

Laboratoire COSTEL UMR 6554 CNRS (LETG) Université Rennes 2

Abstract: We used the NDVI calculated from both NOAA-AVHRR and SPOT-Vegetation images for monitoring the spatial extent of drought in Brittany. For 2003, we found a good relationship between the NDVI and the evapotranspiration but bidirectional reflectance effects, angular values and compositing's procedures may also have a great impact on observed values of NDVI.

Mots clés : NDVI, NOAA-AVHRR, SPOT-Végétation, Bretagne

Key words: NDVI, NOAA-AVHRR, SPOT-Vegetation, Brittany

Introduction

De nombreux travaux sont engagés dans le cadre de programmes portant sur le changement global, afin d'étudier les variations climatiques et les facteurs qui les génèrent (IGBP, International Geosphere-Biosphere Programme). Une bonne partie d'entre eux portent sur la détection de changements brutaux et spectaculaires, telles que la déforestation ou les inondations (Lambin et Strahler, 1994). Ils sont menés à l'échelle globale, continentale ou sub-continentale à partir d'images satellites d'observation de la terre à haute répétitivité, avec une fréquence d'acquisition d'images quotidienne, et à basse résolution spatiale, de l'ordre du kilomètre. Cependant, à ces échelles les chercheurs sont fréquemment confrontés au problème de la validation des changements détectés, le saut à effectuer pour confronter les résultats aux observations effectuées à l'échelle locale sur le terrain étant trop important (Lupo et al., 2001). En outre, à partir des seules images de satellites, il n'est pas toujours évident de faire la part des changements d'occupation du sol de ce qui relève de la variabilité interannuelle du climat. Nous présentons dans ce travail une analyse des synthèses mensuelles des indices de végétation NDVI pour l'année 2003, marquée par une forte sécheresse en Bretagne, que nous avons cherché à mettre en relation avec les données du bilan hydrique et notamment l'évapotranspiration réelle.

1. Problématique

Dans le contexte des études sur les changements climatiques, le suivi de l'évolution de l'utilisation et de l'occupation des sols représente un enjeu important pour les années à venir. Dans des régions d'agriculture intensive telle que la Bretagne, des modifications intervenant au niveau de systèmes culturels et des structures paysagères liées pour partie à ces changements climatiques peuvent avoir un impact important sur l'environnement, en particulier sur les ressources en eau. En retour, les changements produits sur les structures paysagères et les modes d'occupation des sols peuvent entraîner des changements climatiques locaux qui participent au changement global. Le suivi des changements intervenant dans la couverture végétale à une échelle régionale représente donc aujourd'hui un des enjeux majeurs de la recherche dans les applications du domaine spatial tant au niveau international (Programmes «Land Use/Cover Change Project » - référence LUCC Science Plan-, « IGBP/IHDP ») qu'au niveau national. La connaissance des variations spatio-temporelles de l'occupation et de l'utilisation des sols est un des éléments-clé permettant d'effectuer des simulations de l'évolution des climats, notamment à partir de l'exploitation de longues séries d'images de satellites (Champeaux et al., 2000).

Cette étude s'intègre dans le cadre du Programme National de Télédétection Spatiale, financé par le CNES et intitulé "Changements d'utilisation du sol en région agricole intensive: suivi et modélisation de l'échelle locale à l'échelle régionale" ainsi que dans le cadre d'un financement d'un PRIR financé par la région Bretagne sur le "suivi des changements d'origine anthropiques et climatiques à l'échelle régionale par télédétection ; Application à la Bretagne".

2. Méthodologie

Pour cette étude, deux séries temporelles de NDVI issues d'images NOAA AVHRR (1997-2002) et SPOT VEGETATION (1998-2003) ont été exploitées. Les deux séries temporelles d'indices de végétation utilisées ont toutes été projetées en Lambert II étendu à une résolution kilométrique. Les deux séries sont superposables, ce qui permet leur comparaison. Les produits NOAA/AVHRR sont des synthèses mensuelles de NDVI. Les images journalières qui composent les synthèses sont corrigées de l'atmosphère ainsi que des effets angulaires. Ces images ont été acquises auprès du SATMOS. Une fois les images journalières prétraitées, un maximum est effectué sur une période d'un mois. Pour SPOT/VGT, les produits S10 ont été utilisés. Ces synthèses de NDVI décadaires sont effectuées à l'aide du Maximum Value Composite. Il aurait été possible d'utiliser également les produits D10 qui font l'objet de correction de la réflectance bidirectionnelle. Toutefois, des effets de segmentation trop importants ont été constatés sur la Bretagne et nous avons donc préféré les produits S10 au D10. En outre, la période couverte par les images S10 est plus longue que pour les images D10. Il est important de souligner que les produits issus des deux satellites sont prétraités différemment. Pour SPOT/VGT, les effets angulaires ne sont pas pris en considération. Les données NOAA/AVHRR sont largement filtrées et bénéficient de l'apport des canaux dans l'infrarouge thermique (qui font défaut à SPOT/VGT) pour améliorer le masque nuageux.

Chaque station météorologique a été associée à une surface de 5 km sur 5 km dont les valeurs d'indices de végétation ont été extraites. Le choix de la zone d'extraction a été effectué en fonction de plusieurs critères. Celle-ci a été placée en dehors des zones urbanisées. Ont également été exclues les surfaces d'eau. Pour chaque site, les zones agricoles dominent largement.

Ces données d'indice de végétation ont été comparées aux données du bilan de l'eau calculé pour les principales stations bretonnes. Le calcul de l'ETP a été réalisé à partir de la formule de Turc avec une réserve utile unique fixée à 125mm. Nous avons choisi de retenir les valeurs mensuelles de l'évapotranspiration réelle (ETR) pour comparer avec les données de NDVI et les valeurs du déficit d'évaporation ($DE = ETP - ETR$) afin de quantifier l'intensité de la sécheresse (Dubreuil, 1994).

3. Résultats

Nous présentons ici uniquement les cartes obtenues à partir des images SPOT Végétation (voir planche de figures) : les moyennes mensuelles des NDVI ont été calculées sur la période 1999-2003 et sont comparées aux valeurs de l'année 2003. On peut remarquer qu'au cours de cette année 2003, les faibles précipitations et les fortes chaleurs estivales se sont traduites par une forte sécheresse et un indice de végétation globalement plus faible (surtout de juillet à septembre) qu'au cours des années antérieures. Ceci est corroboré par les valeurs élevées du déficit observé en août 2003 (92mm à Dinard, 111mm à Vannes, 114mm à Rennes) ainsi que sur l'ensemble de l'année : 313mm à Rennes (autant qu'en 1990), 320mm à Dinard (2e valeur la plus élevée après 1976).

La nature du comportement spectral des végétaux autorise à penser qu'une relation simple peut être établie entre le NDVI et l'évapotranspiration par l'intermédiaire de la résistance stomatique au transfert de la vapeur d'eau. Plusieurs auteurs ont ainsi montré des corrélations significatives avec les données de précipitation (Louhala et al., 1997 ; Wang et al., 2003 ; Srivastava et al., 1997). Nos calculs montrent que, pour les 9 stations bretonnes étudiées sur la période 1999-2003, les corrélations sont faibles avec les précipitations ou le DE mais plus significatives avec l'ETR. Les résultats sont légèrement meilleurs avec les données SPOT-Végétation et notamment pour la seule année 2003 (tableau ci-dessous). L'analyse comparée des images SPOT et NOAA montre cependant que les différences observées entre les deux séries de NDVI sont souvent liées aux conditions de visées.

Tab. 1 : corrélations entre l'ETR mensuelle et le NDVI (maximum mensuel)

1999-2003	Brest	Dinard	Lannion	Lorient	Quimper	Rennes	Rostrenen	Saint Briec	Vannes
SPOT/VGT	0.45	0.52	0.68	0.47	0.73	0.10	0.66	0.50	0.43
NOAA/AVHRR	0.36	0.44	0.60	0.31	0.66	-0.04	0.55	0.44	0.56

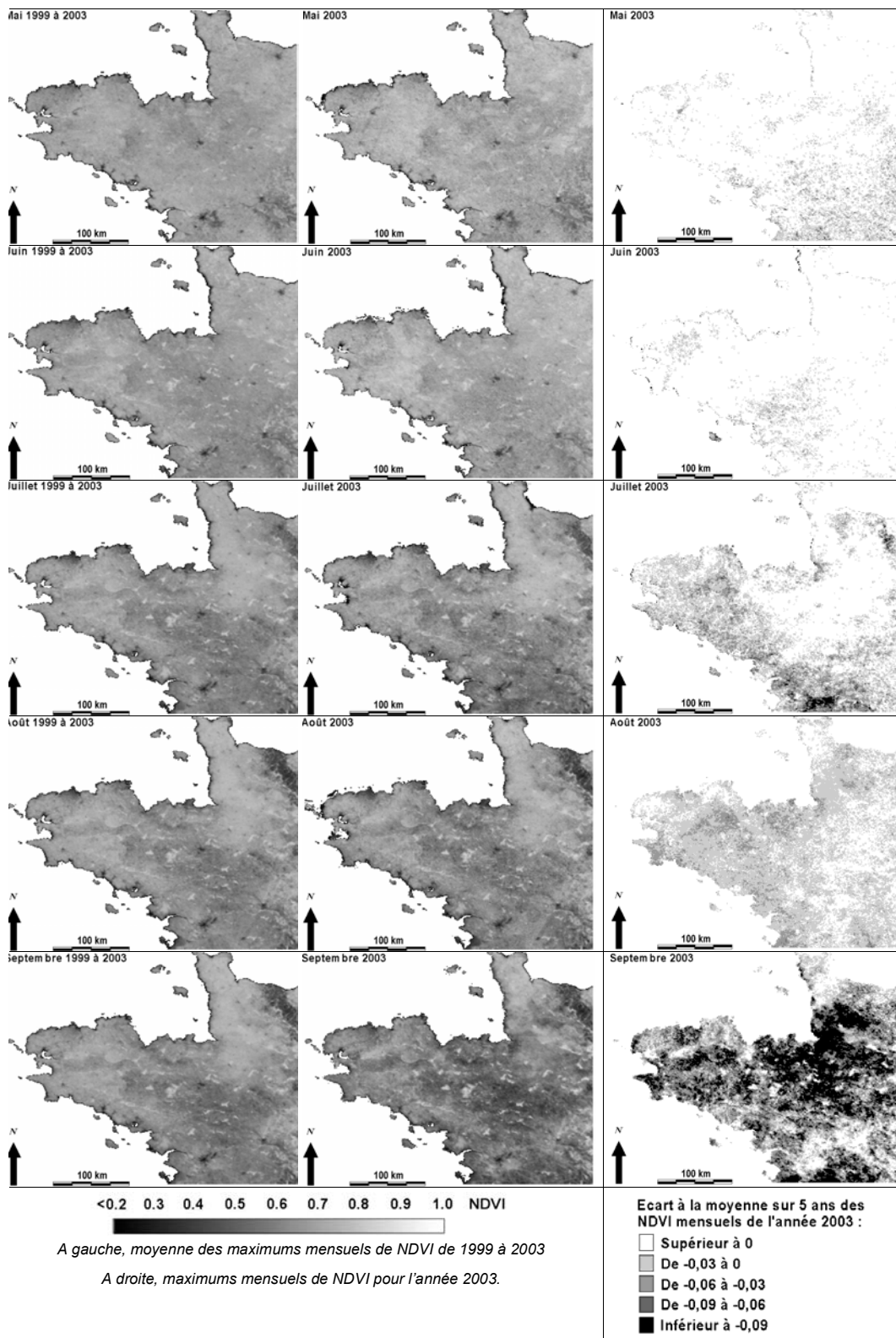
2003	Brest	Dinard	Lannion	Lorient	Quimper	Rennes	Rostrenen	Saint Briec	Vannes
SPOT/VGT	0.83	0.75	0.72	0.56	0.78	0.48	0.76	0.72	0.77
NOAA/AVHRR	0.64	0.61	0.78	0.57	0.79	0.46	0.70	0.78	0.64

Conclusion

Les données de NDVI ont été confrontées aux paramètres du bilan de l'eau pour les années 1999 à 2003 en Bretagne : le lien le plus significatif a été obtenu avec l'ETR mensuelle. Cependant, même à la suite des pré-traitements géométriques et radiométriques de l'ensemble des séries multi-temporelles, les résultats montrent que sur un paysage agricole fragmenté et situé dans un contexte climatique océanique, la nébulosité et les angles de visée utilisés apparaissent très contraignants (Cihlar et al., 1994). En conséquence, le lien entre l'évolution de la couverture végétale et les paramètres climatiques n'est pas toujours évident.

Références bibliographiques

- CIHLAR J., MANAK D., et al., 1994, AVHRR bidirectional reflectance effects and compositing, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 48, pp 77-88.
- CHAMPEAUX J.L., ARCOS D., BAZIL E., GIRARD D., G et al., 2000. AVHRR-derived vegetation mapping over Western Europe for use in numerical weather prediction models, *International Journal of Remote Sensing*, 21, 1235-1249.
- DUBREUIL V., 1994, La sécheresse dans la France de l'Ouest ; Thèse de Doctorat de géographie de l'Université Rennes 2, 381p.+ Annexes
- LAMBIN E.F., STRAHLER A.H., 1994. Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14 : 2099-2119.
- LOUHALA S., FISCHER A. et al., 1991, Classification de profils temporels de NDVI AVHRR/NOAA et sensibilité à l'occupation du sol et aux conditions climatiques en région tempérée, *Proceedings of the 5th International Colloquium – Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, Courchevel, pp. 647-650.
- LUPO F., REGINSTER I. and LAMBIN E.F., 2001, Monitoring land-cover changes in West Africa with SPOT VEGETATION: Impact of natural disasters in 1998-1999, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No13, pp. 2633-2639.
- SRIVASTAVA S. K., JAYARAMAN V., NAGESWARA RAO P. P., MANIKIAM B. et CHANDRASEKHAR M. G., 1997, Interlinkages of NOAA/AVHRR derived integrated NDVI to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, No. 14, pp. 2931-2952.
- WANG J., PRICE K.P., RICH P.M., 2003, Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA., *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No 11, pp 2345-2364.



SUIVI SPATIO-TEMPOREL DE L'ÉTAT HYDRIQUE DE LA VÉGÉTATION DANS LE NORD-OUEST DE LA TUNISIE PAR IMAGERIE SATELLITAIRE

*M. Feki **, *A. Douguedroit ** et *V. Dubreuil ***

* Institut de Géographie, UMR 6012 ESPACE, Université de Provence

** Université de Rennes 2, laboratoire Costel-LTETG, UMR 6564 CNRS
e-mail : m_feki@hotmail.com

Résumé : Nous proposons d'étudier, de mars à septembre 1999, à l'échelle décadaire, à partir des images NOAA AVHRR, l'évolution de l'état hydrique de la végétation. L'indice de végétation (NDVI) a été couplé avec la carte des couverts végétaux au sein du Système d'Information Géographique Idrisi.

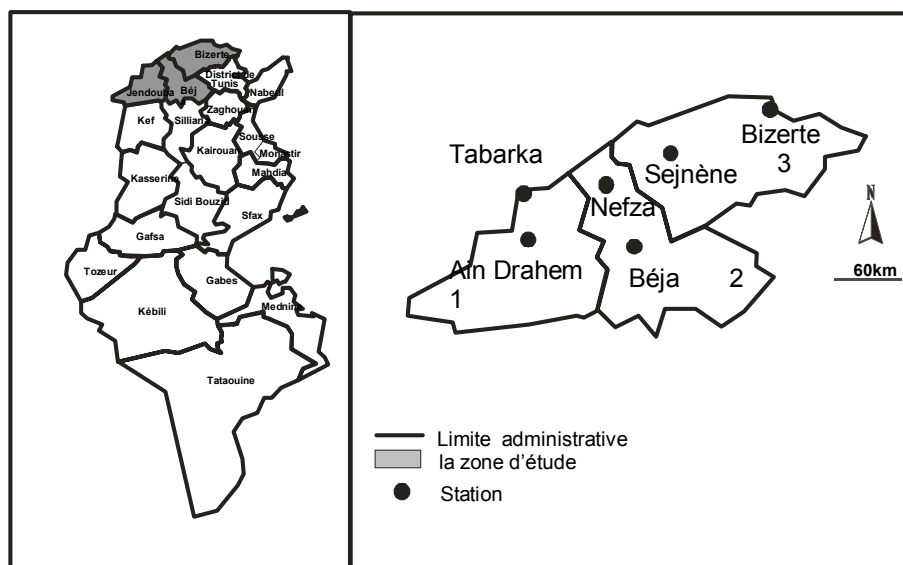
Mots clefs : ETP ; NDVI ; NOAA ; SIG ; Tunisie

Abstract: The evolution of fuel moisture content 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: ETP ; NDVI ; NOAA ; SIG ; Tunisia

Introduction

La Kroumirie et les Mogods, région montagneuse du nord-ouest de la Tunisie, concentrent plus de 50% de l'espace forestier national. La forêt est composée essentiellement de chênes liège et de chênes zeen, espèces à feuilles caduques implantées dans les stations fraîches en altitude et le long des oueds. Elle souffre, outre la pression anthropique, des incendies surtout pendant un été chaud et sec de 3 à 4 mois.



Notre objectif est de faire un suivi spatio-temporel par imagerie satellitaire de l'évolution de l'état hydrique de la végétation durant l'année 1999 (de mars à septembre) pour déterminer la période la plus propice aux incendies.

Fig.1 : Localisation de la zone d'étude : à gauche en Tunisie, à droites les provinces (1=Jendouba, 2=Béja, 3=Bizerte)

1. Données et méthodes

La région étudiée correspond aux trois provinces de Jendouba, Béja et Bizerte (fig.1). Le stress hydrique a été évalué par l'imagerie satellitaire NOAA AVHRR 14, avec une résolution de 1.1km. Les images ont été fournies et traitées (calibration, géoréférencement et calcul des NDVI) par le SATMOS (CMS, Lannion). Elles ont été converties au format Idrisi au laboratoire COSTEL de l'Université de Haute Bretagne. Nous avons retenu l'indice de végétation (NDVI) 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, Dubreuil, 1997).

Nous avons travaillé au pas de temps décadaire. Les données ont été traitées par la méthode "maximum value composite" (MVC, Holben, 1986) : pour chaque pixel n'est conservée que la valeur maximale du NDVI pour la décade, ce qui permet de limiter les problèmes liés à la navigation du satellite et à l'atmosphère (angle de visée, nuages, etc.).

Les données du NDVI ont été, ensuite, croisées avec celles de la carte de végétation au sein du système d'information géographique (SIG) Idrisi. Nous avons dégradé la résolution de la carte de végétation car elle était supérieure à celle des images NOAA. Ainsi, nous avons pu calculer pour l'année 1999, de mars à septembre, le NDVI moyen de chaque type de végétation pour chaque décade.

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 (Ministère de l'Agriculture, 1993). Nous avons croisé les deux cartes pour avoir une nouvelle carte plus récente au niveau de la classification et de la qualification des groupements végétaux (distinction entre forêts, maquis et garrigues).

2. Résultats

2.1 Les valeurs moyennes du NDVI

Le tableau 1 montre une nette différence au niveau des NDVI moyens calculés pour toute la période de mars à septembre 1999 entre les forêts et les maquis et garrigues.

Forêts		Maquis et garrigues	
chênes zeen	0.59		
mixtes	0.56		
chênes liège	0.53	chênes liège	0.49
pins maritime	0.51	pins maritime	0.49
eucalyptus	0.43	eucalyptus	0.40
		chênes kermès	0.36
		oliviers lentisques	0.36
		non arborés	0.35
pins d'Alep	0.33	pins d'Alep	0.30

Tab. 1 : NDVI moyens ; mixtes : chênes zeen et chênes liège

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 maquis et les garrigues correspondants. Deux sous-ensembles ont été dégagés :

- pour les forêts, le 1er sous-ensemble, dont les NDVI sont les plus élevés (supérieur à 0.50), concerne les forêts de chênes zeen, mixtes, de chênes liège et de pins maritime. Le 2ème sous-ensemble regroupe les forêts de pins d'Alep et d'eucalyptus qui ont des valeurs des NDVI moins élevées que le 1er sous-ensemble ;

- pour les maquis et garrigues, ceux à chênes liège et à pins maritime forment le 1er groupe avec des valeurs moyennes de NDVI les plus élevées alors que les maquis et les garrigues à chênes kermès, aux lentisques, non arborés et à pins d'Alep constituent le 2ème groupe qui a les plus faibles NDVI.

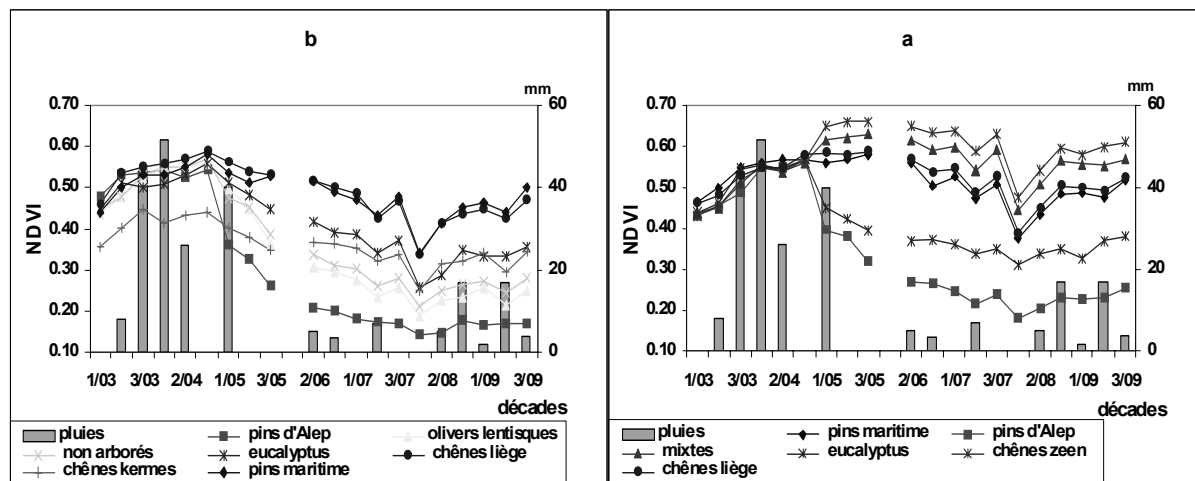
On peut observer une variation altitudinale du NDVI. Le tableau 1 illustre une croissance des valeurs moyennes en relation avec l'étagement de la végétation. Les forêts de chênes zeen et les forêts mixtes, qui se rencontrent au delà de 500 ou 650 m d'altitude selon l'exposition et qui appartiennent à l'étagé méso-méditerranéen, ont des valeurs plus fortes que les autres forêts et le maquis de l'étagé thermo-méditerranéen qui se trouve à une altitude plus basse.

De plus, les NDVI décadaires moyens reflètent une grande variabilité spatiale entre la Kroumirie (Ouest), couverte plutôt de forêts et les Mogods (Est) où maquis et garrigues sont fréquents, d'où des valeurs moyennes de NDVI plus élevées à l'ouest qu'à l'est. Cette variabilité spatiale est principalement liée aux conditions locales : relief et climat.

2.2 Variations printanières et estivales

Les variations saisonnières des valeurs moyennes des NDVI sont bien observées en 1999 (fig. 2).

Fig. 2 : évolution temporelle de l'indice de végétation pour chaque type de couvert par décennie (a = forêts; b = maquis et garrigues) et des précipitations (station de Tabarka).



Les courbes temporelles de l'indice de végétation présentent une forme similaire liée à l'évolution de l'activité photosynthétique de la végétation (fig. 2) : une croissance au printemps suivie par une décroissance en été et une remontée à la fin de cette saison. Au printemps, les NDVI atteignent leurs valeurs moyennes maximales. Cette croissance est expliquée par l'activité végétative qui s'accroît pendant cette saison suite au débourrement et à la montée de sève dans les arbres. La décroissance en été témoigne de l'utilisation de la réserve en eau qui diminue et une végétation en état de stress hydrique. Les pluies de la fin de l'été ont permis la remontée du NDVI.

Cependant, la figure 2 montre une période de croissance du NDVI plus courte pour les maquis et les garrigues que pour les forêts. La saison de pleine activité végétative des deux premiers types de couvert a été limitée aux deux premiers mois du printemps ; les NDVI moyens ont atteint des valeurs maximales lors de la 3ème décennie d'avril (entre 0,54 et 0,58 sauf les garrigues à chênes kermès), et fin mai, c'est-à-dire tardivement, pour les forêts (de 0,58 à 0,66) sauf pour les forêts de pin d'Alep et les forêts d'eucalyptus (NDVI plus bas). Ces dernières ont des courbes de même profil que les maquis et les garrigues. La 2ème décennie du mois d'août marque une diminution du stress hydrique ; le retour précoce des pluies en août a permis la reprise de l'activité photosynthétique pour les deux types de couverts.

Les écarts entre les valeurs maximales et minimales de l'indice de végétation sont plus faibles pour les forêts que pour les maquis et garrigues; ces derniers ont subi pendant cette année-là un stress hydrique plus intense. Le système des racines des arbres leur permet d'accéder à des ressources en eau supérieures.

L'évolution du NDVI moyen est liée à l'évolution des précipitations en 1999 ; les pluies ont été concentrées sur le début du printemps cette année-là (station de Tabarka). Le NDVI a augmenté jusqu'à fin mai et début juin, en même temps qu'il pleuvait. Il a baissé à partir de début juin, après la forte diminution et/ou l'arrêt des pluies.

Conclusion

L'étude des NDVI moyens décennaires de mars à septembre 1999 dans le nord-ouest de la Tunisie à partir des images NOAA AVHRR a montré que les forêts ont des valeurs moyennes plus fortes que les maquis et garrigues. Une croissance du NDVI avec l'altitude a été observée : les forêts de l'étage méso-méditerranéen ont des valeurs moyennes plus élevées (supérieur à 0,50) que celles des basses altitudes. Les maquis, les garrigues et les forêts de pin d'Alep et celles d'eucalyptus ont connu cette année-là une période de stress hydrique plus longue (dès fin avril) et plus intense.

Références bibliographiques

CESARI, V., 2001 : interprétation par SIG du signal satellitaire estival de la végétation méditerranéenne (Basse Provence calcaire), Thèse de Doctorat, 194p.

CHOUDURY B.J., 1987: relationship between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis is evaluated by a sensitivity analysis, RSE, 22, pp.209-233.

DUBREUIL V., LE DÛ L., 1997: Etude du couvert végétal (NDVI) par télédétection (NOAA-AVHRR) ; in "Le climat, l'eau et les hommes; Mélanges offerts au Professeur Jean Mounier", Presses Universitaires de Rennes, pp.45-63

HOLBEN B. N., 1986: Characteristics of Maximum Value Composite images from temporal AVHR data, International Journal of Remote Sensing, 7, pp. 1417-1434.

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. In : Annales de l'Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie, vol. 40, fasc.1, 340 p.

ELIMINATION DU CLUTTER DU SOL PAR LES RÉSEAUX DE NEURONES

B. Haddad, N. Assous et L. Sadouki

Laboratoire Traitement d'Images et Rayonnement,
Faculté d'Electronique et d'Informatique
Université des Sciences et de la Technologie d'Alger
e-mail : h_boualem@hotmail.com

Résumé : Ce papier porte sur l'identification et l'élimination des échos en provenance de la surface terrestre dans les images radar. Pour ce faire, nous avons utilisé la technique basée sur les cartes auto-organisatrices de Kohonen. Les données utilisées sont les images enregistrées dans la région de Bordeaux (France) en 1996 et celles collectées à Setif durant la période 1999-2001. En traitant ces images, nous constatons que les échos en provenance de la surface terrestre sont éliminés à 97 % et les échos de précipitations sont préservés à 98 %. En outre, l'erreur commise sur le taux de précipitations ne dépasse guère 2 %. De plus, le temps nécessaire au filtrage des échos parasites est de l'ordre d'une minute permettant ainsi un traitement en temps réel des images radar. L'approche ainsi proposée permet d'éliminer aussi bien les échos fixes causés par les obstacles que les échos terrestres dus aux anomalies de propagation ou anaprops.

Mots clé : Radar météorologique ; échos du sol ; échos de précipitations ; réseaux de neurones
Cartes auto-organisatrices de Kohonen.

Abstract: This paper concerns the identification and the elimination of echoes arising from the earth surface in radar images. For this purpose, we used the technique based on self organization map of Kohonen. The data used in this study are images registered in the region of Bordeaux (France) during 1996 and those collected at Setif from 1999 to 2001. We get that, thanks to this approach, 97 % of ground echoes are removed and 98 % of precipitation echoes are preserved in the radar images of Bordeaux and Setif. Besides, error committed on the rate of precipitation does not exceed 2 %. Furthermore, time necessary for the filtering of undesirable echoes is of the order of one minute allowing so a treatment in real time of radar images. Approach so proposed allows as well to eliminate fixed echoes caused by obstacles as ground echoes due to anomalous propagation or anaprops.

Key words: Meteorological radar ; ground echoes ; precipitation echoes; neural network; Self organization map of Kohonen.

Introduction

L'eau est synonyme de vie, mais elle peut être à l'origine de catastrophes naturelles. Il est donc important d'en connaître la distribution et les sources de renouvellement pour la gérer de façon rationnelle et de prévenir les dangers qu'elle peut causer. De ce fait, l'identification et l'estimation des précipitations doivent être réalisées de la façon la plus précise possible afin de gérer des situations aussi complexes. De nos jours, le radar météorologique est l'instrument le plus utilisé pour l'observation et l'estimation des précipitations. En effet, il offre de bonnes opportunités pour la compréhension de la structure des précipitations. Cependant, les images prises par un radar comporte divers échos. Ces échos sont principalement dus aux précipitations mais ils sont souvent accompagnés d'échos en provenance de la surface terrestre. Ces derniers, considérés par les météorologues comme des échos parasites réduisent considérablement les performances du radar en induisant des erreurs dans l'estimation des précipitations.

Les échos en provenance de la surface terrestre apparaissent sous forme de cibles fixes ou lentement mobiles. Les échos fixes sont causés par la rétro-diffusion des ondes radar par les obstacles formant la surface terrestre tels que les montagnes, les collines, les bâtiments, les pylônes, etc.... Les échos mobiles sont essentiellement dus aux anomalies de propagation et ils apparaissent au delà de l'horizon (Bean et Dutton, 1968). Ce type d'échos est par définition ce que l'on appelle anaprops ou échos A.P. (anomalous propagation).

Diverses techniques d'élimination des échos en provenance de la surface terrestre sont proposées dans la littérature. Par exemple, Doviak et Zrnic (1993) et Sachidananda et Zrnic, (2003) ont utilisé les propriétés Doppler pour distinguer les échos du sol des échos de précipitations. Hamuzu et Wakabayashi (1991) ont pu filtrer les échos du sol en se basant sur l'analyse en temps réel du temps de corrélation du signal radar. La suppression des anaprops par les radars polarimétriques a été étudiée par Guili et al.(1991) et aussi par Ryzhkov et Zrnic (1998). Pour les radars météorologiques conventionnels, c'est à dire qui ne sont ni Doppler ni polarimétrique, les échos en provenance de la surface terrestre peuvent être éliminés en analysant les propriétés statistiques des anaprops et des échos de précipitations. Par exemple, Moszkowicz et al. (1994) ont utilisé l'approche bayésienne pour classer les échos radar. Steiner et Smith (2002) ont proposé une étude tridimensionnelle de la structure de la réflectivité radar pour filtrer les échos de précipitations. Dans ce papier, nous proposons une méthode basée sur les cartes auto-organisatrices de Kohonen pour éliminer aussi bien les échos fixes que les anaprops.

1. Banque de données

Les images utilisées dans cette étude sont celles qui sont enregistrées par les radars de Bordeaux (France) en 1996 et Setif (Algérie) durant la période 1999-2001. Le radar de Bordeaux est installé sur une tour de 18 m à l'aéroport de Bordeaux Mérignac. Ses coordonnées géographiques sont 44°51' N et 0°39' W. C'est un radar pulsé travaillant à 2,8 GHz et délivrant une puissance crête de 700 KW. La durée de l'impulsion radar est de 2 μ s. L'antenne est un paraboloïde de 4 m de diamètre. Le radar de Bordeaux enregistre une image toutes les cinq minutes sous un format 512x512 pixels, avec une résolution de 1 km par pixels. Sétif est une ville des hauts plateaux algériens entourée des montagnes du Djurdjura, des monts des Bibans et des Babors. Le radar de Setif est installé à 1300 m d'altitude. Ses coordonnées géographiques sont 36°11' N et 5° 25' E. Il travaille à 5,6 GHz et délivre une puissance crête de 250 KW. La durée de l'impulsion radar est de 2 μ s et sa période de récurrence est de 4 ms. L'antenne est un paraboloïde de 3 m de diamètre et de gain égal à 30 dB. La résolution et le format des images sont identiques à ceux de Bordeaux.

2. Présentation du modèle de Kohonen et interprétations des résultats

Les cartes auto-organisatrices de Kohonen sont du type de réseaux à apprentissage non supervisé et qui s'inspirent de la modélisation des systèmes de perception, telles que la vue ou l'ouïe, chez les mammifères. Dans ces systèmes, on a d'abord réception de signaux extérieurs, puis traitement à l'intérieur du système nerveux. Leur principale propriété est de pouvoir coder sur des neurones voisins des signaux d'entrée qui se ressemblent. L'algorithme de KOHONEN comporte deux principales phases, à savoir, la phase d'apprentissage du réseau et la phase de reconnaissance. Dans notre application, l'étape d'apprentissage se résume comme suit :

* L'extraction et l'apprentissage de la forme des échos du sol par la comparaison de plusieurs images. Cette opération se fait une seule fois pour chaque site à étudier.

* L'extraction et l'apprentissage de la forme des nuages, en se basant sur l'homogénéité du nuage, et ceci pour chaque image à étudier.

Pour appliquer l'algorithme de Kohonen, nous considérons une carte où le nombre de neurones est égal au nombre de pixels de l'image. Chaque pixel de l'image, de dimension MxN est représenté par trois couleurs, à savoir rouge, verte et bleue. L'apprentissage du réseau revient à extraire la forme des échos du sol. On calcule la distance euclidienne entre chaque neurone et son pixel correspondant selon l'expression :

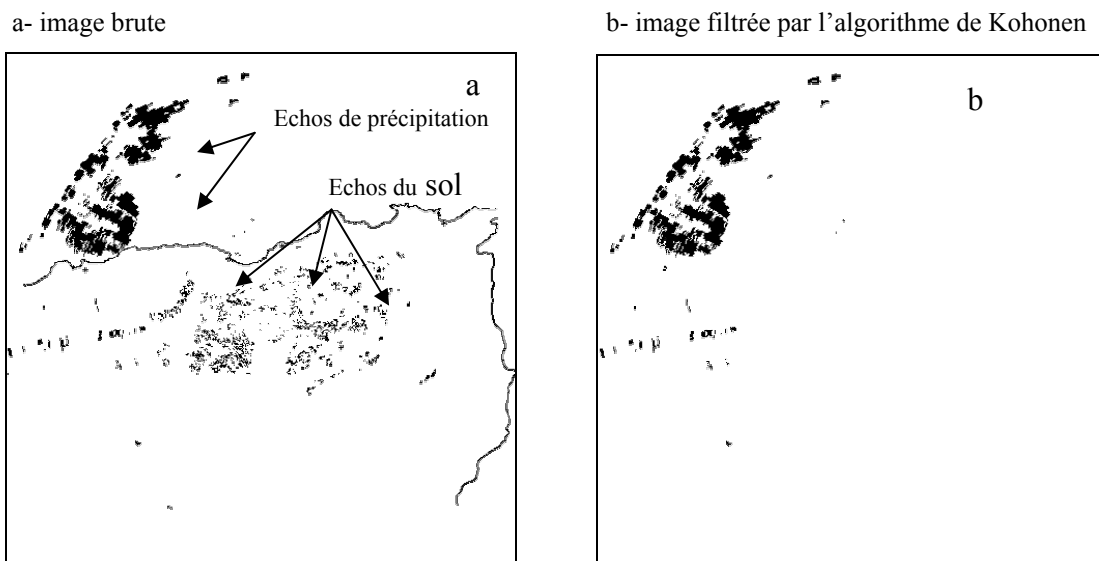
$$d_{ij} = \text{dist}(X(t), W_{ij}) = \left[\sum_{k=1}^n (W_{ijk} - X_k)^2 \right]^{1/2}$$

$X(t)$ est le vecteur d'entrée, W_{ij} est le vecteur du neurone C_{ij} ,
 X_k représente les composantes du vecteur d'entrée et n est égal à trois

Les neurones vainqueurs seront ceux dont la distance est inférieure à un seuil T . Une fois la phase d'apprentissage terminée, on procède à l'étape de l'étiquetage ou la séparation des précipitations des échos du sol. Pour une image à traiter, on ouvre un voisinage pour chaque pixel et on calcule la distance euclidienne entre chaque neurone de la carte des échos du sol et le pixel considéré. On calcule la moyenne des distances euclidiennes sur l'ensemble des neurones qui forment le voisinage. Le résultat obtenu est attribué au neurone central. Le filtrage des nuages se fait en éliminant tous les pixels dont la distance euclidienne est inférieure à un certain seuil. Ce seuil varie d'un site à un autre.

L'application de l'approche de Kohonen sur les images radar est illustrée par la figure 1. Nous avons considéré dans cette figure une image prise à Setif où on distingue les précipitations des échos du sol. Après traitement par les cartes auto-organisatrices de Kohonen, on constate que les échos du sol sont quasiment éliminés alors que les échos de précipitation sont pratiquement conservés.

Fig. 1 : Image prise à Setif le 22 /01/2001 avant et après le filtrage



D'autres situations ont été considérées. Par exemple, nous avons traité le cas où les échos de précipitations couvrent totalement ou partiellement les échos parasites ou bien lorsque nous avons affaire uniquement aux anaprops. Dans tous les cas, les échos en provenance de la surface terrestre sont quasiment éliminés alors que les échos de précipitation sont conservés. Les mêmes résultats sont obtenus pour le site de Bordeaux.

Conclusion

L'approche basée sur les cartes auto-organisatrices de Kohonen permet d'identifier chaque type d'échos dans les images prises à Bordeaux et à Setif sans aucune ambiguïté. L'application de cette technique au filtrage de ces images permet d'éliminer 97 % des échos en provenance de la surface terrestre et de conserver 98 % des échos de précipitations. Grâce à sa simplicité d'implémentation, l'approche proposée dans cette étude paraît très adaptée au traitement des échos parasites en provenance de la surface terrestre. Les algorithmes développés peuvent jouer le rôle de système automatique de traitement en temps réel des échos radar. En effet, les images sont collectées toutes les cinq minutes pour Bordeaux et quinze minutes pour Setif alors que le temps de traitement des images radar ne dépasse pas soixante dix secondes. Cette approche est aussi bien efficace pour supprimer les échos fixes causés par les obstacles que les échos du sol dus aux anomalies de propagation.

Références bibliographiques

- Bean, B. R. et Dutton, E. J. (1968) : Radio meteorology. Dover Publications, 453 pp.
- Doviak, R. J. et Zrnic, D. S. (1993) Doppler Radar and Weather Observations. Academic Press. 562 pp.
- Giuli, D., Gharardelli, M., Freni, A., Seliga, T. A. et Aydin, K. : (1991) Rainfall and clutter discrimination by means of dual-linear polarisation radar measurements. Journal Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 8, p. 777-789.
- Greco, M. et Krajewski, W. F. (2000) : An efficient Methodology for Detection of Anomalous Propagation Echoes in Radar Reflectivity Data Using Neural Networks. Journal Atmospheric Oceanic Technology, vol. 17, p. 121-129.
- Hamuzu, K et Wakabayashi, M. (1991) : Ground clutter rejection. Hydrological Applications of Weather Radar, Clukie and Collier, Ed. Ellis Horwood Ltd., 131-142.
- T. Kohonen. (1990) : The self-organizing map. Proceedings of the IEEE, 78(9) : 1464-1480,
- Moszkowicz, S., Ciach, G. J. et Krajewski, W. F. (1994) : Statistical detection of anomalous Propagation in radar reflectivity patterns. Journal Atmospheric and Oceanic Technology, vol.11, p. 1026-1034.
- Ryzhkov, A. V. et Zrnic, D. S. (1998) Polarimetric rainfall estimation in the presence of anomalous propagation. Journal Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 15, p. 1320-1330.
- Sachidananda, M. et Zrnic, D. S. (2003) An improved clutter filtering and spectral moment estimation algorithm for staggered PRT sequences. Journal Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 19, p. 2009-2019.
- Steiner, M. et Smith J. A (2002) Use of three dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of non precipitation echoes in radar data. Journal Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 19, p. 673-686.

MODÈLE DE VARIABILITÉ CLIMATIQUE INDÉPENDANT DE L'ÉCHELLE TEMPORELLE

I. Haidu

Université de Cluj-Napoca, Faculté de Géographie,
5-7 rue Clinicilor, 3400 Cluj-Napoca Roumanie
e-mail : ionel_haidu@yahoo.com

Résumé : L'article propose l'Algorithme d'Identification des Tendances Locales (AITL) comme une technique alternative pour la détermination du signal climatique. L'AITL décompose la série climatique dans une série stationnaire ergodique ou « bruit blanc » plus une somme de plusieurs séries des tendances locales opposées, délimités par des ruptures. Ces séries désignent les signaux climatiques comme une alternance entre deux états climatiques, croissance et décroissance des valeurs qui sont spécifiques pour toutes les échelles temporelles : interannuelle, décennale, séculaire, millénaire.

Mots-clé : sauts climatiques, tendances locales opposées, signal climatique, échelle

Abstract: A model of climate variability irrespective of the time scale. This paper proposes the Local Trends Identification Algorithm (LTIA) as an alternative technique for the climatic signal determination. The LTIA split the climatic series into a stationary ergodic component or « white noise » plus a sum of several series of opposite local trends, separated by shifts. This series define the climatic signals as an alternation between two statistical states, increasing and decreasing values, which are specific for all the climatic scales : interannual, decadal, centennial, and millennial.

Keywords: climate shifts, opposite local trends, climate signal, scale

Introduction

Les climatologues ont identifié une large gamme de modes de variabilité du climat qui semblent être les éléments essentiels de la dynamique du système climatique (Yiou, 2003). Pendant le Quaternaire les moyennes thermiques ont alterné entre les deux états - glaciaire et interglaciaire, ce qui signifie une non-stationnarité au niveau moyen de la série. La dernière période glaciaire était caractérisée par les cycles de Dansgaard-Oeschger, chacun ayant une durée entre 500 et 2 000 ans. A certaines de ces phases sont associés des «événements de Heinrich». Au niveau du dernier millénaire, des fluctuations climatiques séculaires sont identifiées: l'Optimum Climatique du Moyen-Age et le Petit Age Glaciaire. Longtemps les variations récentes ont été considérées comme négligeables. Mann et al. (2000) et Mann (2002) met en évidence une légère tendance de diminution de la température moyenne de l'hémisphère Nord, entre 1000 et 1850, suivie par une forte tendance de croissance. La géométrie globale de ces deux tendances nommée par certains climatologues « hockey stick », a été complétée par Esper et al. (2002) qui ont trouvé, en début du deuxième millénaire, une autre tendance de croissance similaire à l'actuelle. A l'échelle décennale et interannuelle, les grandes oscillations de type PDO, ENSO, NAO, AO etc. définissent le signal climatique. Evidemment, l'histoire du climat est marquée, aux diverses échelles temporelles, de certains cycles ou quasi-cycles ponctués souvent d'événements abrupts. On déduit le fait que pour chaque échelle temporelle précisée ait existé une alternance entre au moins deux états climatiques majeurs, l'un fût chaud et l'autre fût froid, et qui se sont distingués par de durées variées. En outre, il y a des preuves certaines que le passage d'un état à l'autre s'est faites rapidement, c'est-à-dire dans un intervalle de temps beaucoup plus réduit que les deux types d'états alternants. Du point de vue statistique, à cause de la limite finie des séries

temporelles et de la résolution des données, il est très difficile de distinguer entre les cycles / quasi-cycles et les tendances et d'identifier les moments de changements brusques sur l'axe temporel. Néanmoins, cette démarche est absolument nécessaire pour explorer, en relation avec les forçages internes ou externes, les causes de la variabilité climatique. Le but de cette étude c'est la proposition d'un modèle climatique insensible à l'échelle temporelle, qui doit être capable de surprendre, aussi bien l'alternance entre les états climatiques principaux, que le moment de réalisation des sauts brusques. Le modèle a été appliqué et il a été satisfaisant du point de vue statistique et physique, aussi bien sur des séries paléoclimatiques (Briffa-2001, Cook et al.-2003, Guiot-1991, Kirchhefer-2001, Mann et Jones-2003, Szece et MacDonald-1995, Tau et al. 2003) que des séries instrumentales de températures et précipitations.

1. Algorithme d'Identification des Tendances Locales

Dans l'analyse classique des séries temporelles les processus sont souvent imaginés sous forme de deux structures additives: le signal et le bruit. En fonction de l'échelle temporelle et de la résolution des données, le signal peut contenir la tendance globale, les composantes cycliques ou périodiques et possibles effets d'autocorrélation. À la majorité des études, le signal dépend des variables d'intérêt qui doivent être expliquées pour atteindre aux facteurs et aux causes. Le bruit qui masque la lisibilité du signal est constitué par l'effet de tous les facteurs aléatoires et des erreurs d'enregistrement. L'étude du rapport entre le signal et le bruit, est depuis plusieurs décades, l'une des problèmes centraux de la statistique. Les séries de données qui expriment des caractéristiques spécifiques des processus stationnaires peuvent être modélées à l'aide de certains modèles ARMA. Pour les séries non-stationnaires il y a l'approche de type structural et des nouvelles méthodes: Maching Pursuits Algorithm Empirical Mode Decomposition. Dans la climatologie statistique, l'identification du signal climatique représente, de nos jours aussi, le problème principal. Il est une investigation de type «a posteriori», la première fois on détermine les composantes du signal, et puis, sur la fois des déterminations, on explique le phénomène. En comparant les caractéristiques stochastiques des séries instrumentales avec celles « proxy » on remarque qu'on peut utiliser la même méthode de modelage pour les deux cas.

a) Le cas des séries instrumentales. En général la prémisse de la stationnarité est la première étape pour les suivantes inférences statistiques. Cette condition est accomplie par les séries instrumentales, exception faisant la dernière décade des observations. Certains tests statistiques (Haidu et Mercier-1996), montre que beaucoup de séries climatiques instrumentales sont stationnaires dans la moyenne et dans la variance, mais les sous séries sont significativement non-stationnaire. Une série suffisamment longue peut être stationnaire dans son ensemble, mais elle n'est pas stationnaire sur des fragments de longueur raisonnable. L'hypothèse du processus stationnaire non-ergodique répond à ces exigences.

b) Le cas de séries « proxy ». Les plusieurs séries « proxy » examinées sont non-stationnaires, ayant une évidente tendance globale. Autres séries, même si elles passent les testes de stationnarités, elles contiennent sous-périodes, qui ont des longueurs similaires avec ceux des séries instrumentales, qui sont caractérisées par des tendances locales. En conséquence, dans ce cas aussi, l'hypothèse de processus stationnaire non-ergodique, dans laquelle sont inclus les processus non-stationnaire, est la meilleure. Ainsi que, la première étape du modelage doit être la segmentation de la série en sous-périodes ayant tendances locales opposées. On ne doit pas confondre les tests non-paramétrique qui identifient les ruptures de la stationnarité en moyenne avec ceux qui sont capable de distinguer les ruptures entre les tendances locales opposées. Première groupe de test est capable de trouver des segments ayant moyens différents. La deuxième groupe peut délimiter des segments ayant tendances locales (Haidu-1997, Ananicheva et al.-2003). En ce sens, avec l'aide du test Mann-Kendall-Sneyers (modifié) on a identifié les sautes climatiques et les sous-périodes qui ont des tendances opposées. Ensuite, le signal climatique est enlevé pour obtenir une série résiduelle. Si la série résiduelle est suffisamment longue on peut répéter les opérations pour obtenir un signal climatique d'ordre inférieur. Quand une série résiduelle acquiert les propriétés du bruit blanc on peut arrêter l'itération. L'algorithme AITL se ressemble avec une décomposition Fourier, mais dans le premier cas on

obtienne une somme des séries des tendances composites. L'avantage de première c'est qu'on peut identifier des quasi-cycles inégaux au long de la série brute. Il donne aussi les moments de saut ou d'arrêtes des tendances locales et de naissance d'une nouvelle tendance opposée à la précédente.

2. Résultats et discussion

Les figures 1 et 2 mettent en évidence, par rapport à la moyenne globale, deux états climatiques possibles (croissance, décroissance) spécifiques aux sous-périodes finies, délimitées par des sauts. Cette décomposition est applicable indépendamment de la résolution temporelle.

Fig. 1 : Anomalies de températures (° C) de l'HN extratropicale (Esper et al. 2002) et signal climatique sous forme des tendances séquentielles d'ordre 1.

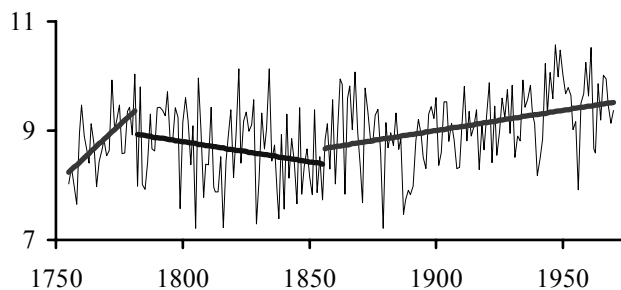
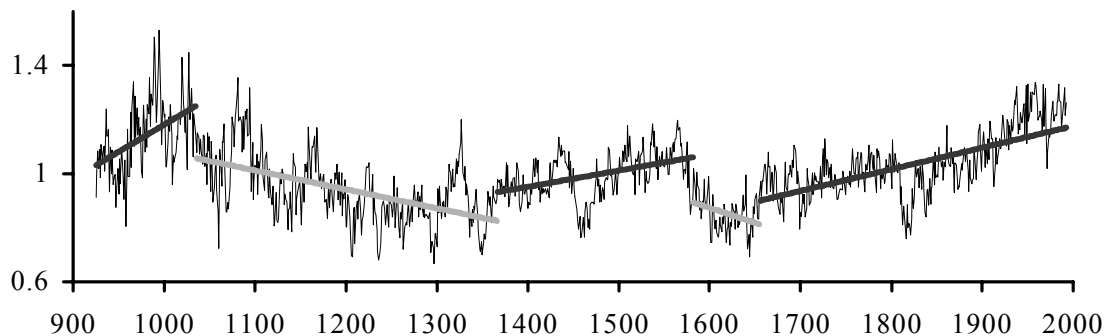


Fig.2 : Températures de Bâle (° C) et le signal climatique sous forme des tendances séquentielles d'ordre 1.

L'identité statistique des sous séries a été confirmée par trois tests non-paramétrique et par la Fonction de Densité de Probabilités – Loi Normale. Les longues séries « proxy » permettent de visualiser les oscillations et les événements millénaires brusques, tandis que les séries résiduelles d'ordres successifs mettent en évidence les particularités de la variabilité climatique séculaire, décennale et interannuelle. Ceci reflète la présence d'un même comportement climatique à toute échelle: interannuelle, décennale, séculaire et millénaire. Les deux états qui caractérisent les séries paléoclimatiques et instrumentales (pour un niveau de signifiante acceptable), l'on propose d'assimiler, du point de vue statistique, à un même comportement climatique commun et indépendamment de l'échelle temporelle.

- i) Il y a un mécanisme qui détermine la conservation d'une tendance locale.
- ii) Un autre mécanisme détermine l'apparition d'une rupture suivie par un passage a une tendance locale opposée. Après un période, plus ou moins longue, de stabilité d'un état il est produit un saut à l'état contraire.

Conclusions

Dans une série non-stationnaire, comme sont les séries « proxy », en dehors de la tendance globale, on peut trouver des tendances locales opposées. Dans une série stationnaire non-ergodique, comme est la majorité des séries instrumentales, on ne trouve pas tendance globale mais, on peut trouver aussi, des tendances locales opposées. En conséquence on peut appliquer une même technique pour la modélisation. L'article propose l'Algorithme d'Identification des Tendances Locales (AITL) comme technique commune de modélisation, indépendant de l'échelle temporelle. L'algorithme décompose une série temporelle dans une série stationnaire ergodique ou « bruit blanc » et une somme de plusieurs séries des tendances locales opposées, délimités par des ruptures. Seules les tendances sur des séquences temporelles sont exemptes de la subjectivité résultant de l'augmentation ou la réduction de la longueur de la série temporelle. Dans l'article on a défini le signal climatique comme l'ensemble des tendances locales opposées. Il est possible de trouver des signaux climatiques de plusieurs ordres par l'application d'AITL aux séries paléoclimatiques. À cause de la longueur supérieure, les séries « proxy » surprendre plusieurs gens des événements climatique ancienne. L'alternation entre croissance et décroissance des valeurs (ou l'existence de tendances locales opposées) est spécifique pour toutes les échelles temporelles : interannuelle, décennale, séculaire et millénaire.

Références bibliographiques

- ANANICHEVA M.D., DAVIDOVICH N.V., MERCIER J.L. (2003) : Changement climatique du dernier siècle dans le Nord-ouest de la Sibérie et la récession des glaciers en Suntar-Khayata. Études glaciologiques, pub. 94, Moscou, L'Académie des Sciences, p 216-224 [en russe].
- ESPER J., COOK E.R., SCHWEINGRUBER F.H. (2002) : Low-Frequency Signals in Long Tree-Ring Chronologies for Reconstructing Past Temperature Variability. Science, Volume 295, Number 5563, 22 March 2002.
- GUIOT J. (1991), The combination of historical documents and biological data in the reconstruction of climate variations in space and in time. [Dans:] B. Frenzel, C. Pfister, B. Gläser (coord.), Paläoklimaforschung / Paleoclimate Research, 7, p. 93-104.
- Haidu I. (1997) : Analiza seriilor de timp. Aplicații în hidrologie. Editura *H*G*A*, București.
- Haidu I., Mercier J.-L. (1996) : Recherche de tendances et de fluctuations dans des séries de précipitations : exemple de Lodève (Languedoc, France). Publications de L'Association Internationale de Climatologie, Vol. 9, 210 - 218.
- MANN, M.E. (2002) : The Value of Multiple Proxies. Science, 297, pp. 1481-1482.
- MANN M.E., JONES P.D. (2003) : Global Surface Temperatures over the Past Two Millennia. Geophysical Research Letters, Vol. 30, No. 15.
- SZEICZ J.M., MACDONALD, G.M. (1995) : Dendroclimatic reconstruction of Summer Temperatures in northwestern Canada Since AD1638 Based on Age-Dependent Modeling. Quaternary Research, 43.

UTILISATION DES DONNÉES MÉTÉOSAT ET DE L'ANALYSE STATISTIQUE POUR LA GESTION EN RÉSEAU DES DONNÉES DE RAYONNEMENT GLOBAL

F. Huard

Institut National de la Recherche Agronomique – AgroClim
Domaine St Paul - Site Agroparc, Avignon
e-mail : huard@avignon.inra.fr

Résumé : Pour valider et reconstituer des données quotidiennes de rayonnement global d'un réseau, différentes méthodes statistiques (extrapolation, interpolation) et outils (données MétéoSat) ont été testés dans le cadre de plusieurs régions tests. Les résultats permettent de développer des procédures et des stratégies optimales de gestion.

Mots-clés : rayonnement global, Météosat, statistiques

Introduction

L'INRA gère un réseau agrométéorologique composé d'une soixantaine de stations équipées de pyranomètres pour la mesure du rayonnement global. Les capteurs font l'objet d'un étalonnage annuel et les mesures sont validées avant d'alimenter une Base de Données. Cependant, compte tenu de la structure spatiale du réseau qui n'a pas de vocation synoptique mais aussi en raison du nombre restreint de ces mesures par d'autres réseaux, les procédures de contrôle et de correction ne répondent pas totalement aux objectifs d'une gestion optimale. La reconstitution de valeurs journalières manquantes ou erronées reste un problème aigu pour lequel l'utilisation de méthodes statistiques spatiales n'est pas toujours possible. Une étude a donc été initiée afin d'évaluer les estimations de rayonnement global issues du satellite MétéoSat et les confronter aux résultats de reconstitutions statistiques.

1. Données

1.1. Données au sol

Trois régions expérimentales (Sud-Ouest, Sud-Est, Bretagne) ont été considérées. Les mesures sont réalisées par des stations automatiques équipées d'un capteur classe 1 ou 2 OMM présentant une précision de 5%. Les appareils sont étalonnés chaque année à AgroClim selon une procédure calquée sur la norme ISO 9847 et les dérives sont toujours inférieures à 2%.

1.2. Données MétéoSat

Les données MétéoSat sont extraites du serveur SoDa (Solar radiation Database for environment, www.soda-is.com) mis en place par l'Ecole Nationale Supérieure des Mines à partir de la méthode de traitement des images Héliosat 2 (Rigollier et al. 2003, Wald 2000, Rigollier 2000). Le serveur SoDa permet l'accès aux données à une résolution spatiale de 5 à 250 km et temporelle de 30 minutes. Les données quotidiennes sont associées à un code qualité variant de 0 à 5 et correspondant au pourcentage d'images brutes utilisées pour l'estimation quotidienne.

La précision, en terme de RMSE relatif calculé sur 60 sites européens et 30 sites africains de juillet 1994 à juin 1995, est estimé à 24% pour les données horaires, 18% pour les quotidiennes, 13% pour les décadaires et 12% pour les mensuelles.

2. Méthodes et résultats

2.1. Evaluation des données MétéoSat

Dans un premier temps, les estimations MétéoSat ont été directement comparées aux mesures pyranométriques au cours de la période 2000-03 sur l'ensemble de sites des 3 régions testées, en considérant les mesures au sol comme références. Ce premier point pose le problème de signification spatiale, la donnée de base MétéoSat correspondant à la valeur d'un pixel alors que les mesures au sol n'ont qu'une définition stationnelle. Les résultats indiquent un RMSE moyen de 17% pour l'ensemble des sites, ce qui confirme la précision annoncée. Toutefois, on note une variabilité importante, tant géographique que temporelle. Ainsi, les résultats s'avèrent meilleurs dans le réseau Sud-Est, moins bons dans le Sud-Ouest et en Bretagne (tab. 1).

Tab. 1 : Evaluation des données MétéoSat

RMSE %	Sud-Est	Sud-Ouest	Bretagne
Moyen	12	18	21
Coef. 2	17	25	29
Coef. 3	14	18	23
Coef. 4	7	16	19

Les estimations MétéoSat sont également liées au coefficient de qualité, lié au type de temps : un coefficient faible traduit une situation météorologique perturbée avec un fort ennuagement, à l'inverse un coefficient élevé est plus souvent associé à la période estivale et à de fortes valeurs de rayonnement (tab. 2). Les gisements solaires contrastés selon les régions expliquent de fait les disparités régionales des résultats.

Tab. 2 : Valeurs de rayonnement associées à l'indice de qualité

Rg (j/cm ²)	Sud-Est	Sud-Ouest	Bretagne
Moyen	1842	1480	1447
Coef. 2	855	639	615
Coef. 3	1610	1364	1292
Coef. 4	2678	2064	1961

2.2. Extrapolations

Les extrapolations ont été obtenues en utilisant des couples de points de mesures au sol. Pour la région test du Sud-Est, on compte ainsi un jeu de 55 couplets (11 stations), 78 dans le Sud-Ouest (13 stations) et 6 en Bretagne (4 stations). Les équations de régression ont été calculées sur la période 2000-2002 puis appliquées sur les données de l'année 2003. Les résultats ainsi obtenus sont ensuite comparés aux mesures.

Les coefficients de corrélation calculés pour les trois régions sont hautement significatifs (supérieurs à 0,90) lorsque la distance est inférieure à 50 km mais décroissent rapidement après ce seuil (fig. 1). Aucune distinction géographique et saisonnière (après une caractérisation basée sur deux périodes, l'une estivale -juin à août- et l'autre hivernale -décembre à février-) ne semble se dessiner.

La précision des estimations par extrapolation selon la distance suit une courbe qui montre qu'en moyenne, au delà de 60 km dans le Sud-Est et 20 km dans le Sud-Ouest, les reconstitutions sont moins précises que les estimations MétéoSat (Fig. 2). Le seuil de 130 km environ observé en Bretagne n'est pas significatif en raison du faible nombre de couplets (6) et des distances inter-postes toujours supérieures à 80 km. L'accroissement du RMSE est très rapide dès les premiers kilomètres : il atteint en moyenne 10% à 20 km et 15 % dès 45 km. Un effet de pépité (offset à l'origine) de 5% est mis en évidence. Ces résultats sont globalement en accord avec les observations réalisées par Perez et al.

(1997) montrant que l'utilisation du satellite s'avérait meilleure au delà d'une distance de 50 km sur la base d'un réseau spatialement bien distribué. On est toutefois éloigné de la distance critique de 15 km de avancée par Struzik (2001).

Fig. 1 : Coefficients de corrélation en fonction de la distance inter-poste

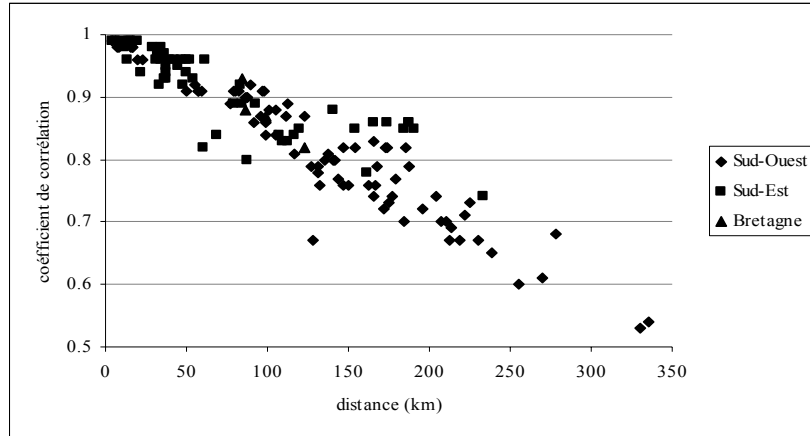
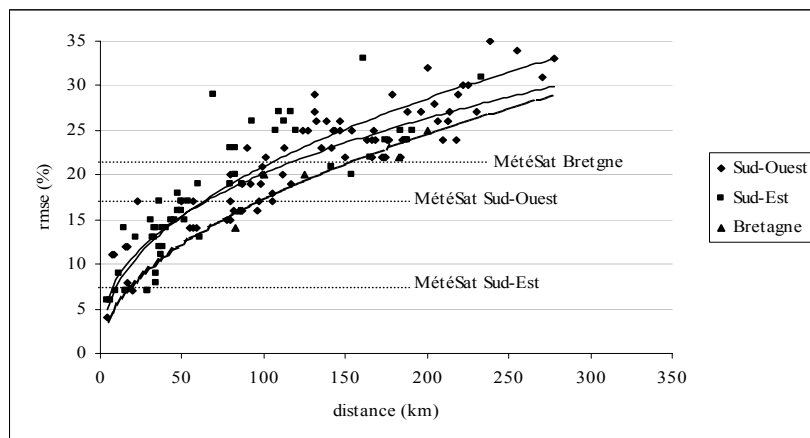


Fig. 2 : Extrapolation du rayonnement global et distance critique



L'analyse saisonnière a été renouvelée et montre des contrastes selon des types de temps et les sites, ce qui confirme les premiers résultats. L'extrapolation est significativement meilleure l'été : le seuil de 15% de RMSE relatif n'est dépassé qu'à partir de 90 km dans le Sud-Ouest et quasiment 300 km dans le Sud-Est. Durant cette période de beau temps, l'extrapolation est donc généralement préférable à l'utilisation des données MétéoSat. La situation est différente durant l'hiver, 15% de RMSE est atteint dès une vingtaine de kilomètres et 20% à partir de 50 km.

2.3. Interpolations

Plusieurs techniques d'interpolation peuvent être utilisées. La plus simple s'appuie sur l'inverse du carré de la distance inter-poste. Cependant, pour être efficace, cette méthode doit se baser sur un réseau de points répartis régulièrement dans l'espace, ce qui n'est pas le cas ici. De fait, le krigeage simple a été préféré. Pour valider les reconstitutions, la valeur de chaque point a été estimée à partir des n-1 points restants puis comparée à sa valeur mesurée (Tab. III). Les résultats contrastés entre l'été et l'hiver sont de nouveau mis en évidence. Les valeurs observées sont comparables, voire légèrement meilleures, que celles issues des études de Zelenka (1999) en Suisse, indiquant un RMSE moyen de 19%.

Tab. 3 : Résultats des interpolations

RMSE %	Sud-Est	Sud-Ouest	Bretagne
Moyen	9	14	21
Eté	6	11	18
Hiver	14	17	25

2.4. Structure spatiale de MétéoSat

Il s'agit de reconstituer des séries de rayonnement global à partir d'un point de mesure et d'appliquer la variabilité spatiale des champs observés à partir des images MétéoSat :

$$*R_{gj} = R_{gi} \cdot [MS_i/MS_j]$$

avec $*R_{gj}$ le rayonnement global estimé en un point j quelconque, R_{gi} le rayonnement mesuré au point de référence i , MS_i et MS_j les estimations MétéoSat des rayonnements aux points de référence i et quelconques j .

Les résultats sont dans l'ensemble proches de ceux observés lors de l'évaluation de MétéoSat et de l'extrapolation (tab. 4). L'importance du type de temps, à travers le coefficient de validité, associé à la distance du point de référence est de nouveau mise en évidence. Cette méthode n'apporte donc pas d'amélioration notable.

Tab. 4 : Reconstitution en utilisant la variabilité spatiale des estimations MétéoSat

RMSE %	Sud-Est	Sud-Ouest	Bretagne
Moyen	13	18	28
Coef. 2	19	26	28
Coef. 3	14	17	16
Coef. 4	10	15	25

Conclusions et perspectives

Au regard des résultats obtenus, il est illusoire de vouloir traiter des pas de temps inférieurs au quotidien. Du reste, les travaux de Perez et al. (1997) sur des données horaires, ont montré que l'extrapolation génère une erreur de l'ordre de 15% en terme de RMSE relatif dès une distance de 4 km avec un effet de pépète de 10%. Il résulte de cette étude un certain nombre d'informations pouvant orienter le développement de stratégies de contrôle, validation et correction de données de rayonnement global au sein du réseau INRA. Les données issues de MétéoSat seconde génération sont attendus avec d'autant plus d'impatience que les estimations de rayonnement global sont annoncées avec beaucoup plus de précision qu'actuellement.

Références bibliographiques

- Perez R., Seals R., Zelenka A. 1997 – Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data, *Solar Energy*, 60, 89-96.
- Rigollier C. 2000 – Vers un accès à une climatologie du rayonnement solaire : estimation de l'irradiation globale à partir d'images satellitales. Thèse de Doctorat, Université de Nice, 214 p.
- Struzik P. 2001 – Spatialisation of solar radiation. Draft report on possibilities and limitations. Cost action 718 Meteorological application for agriculture. 3-rd management committee and working group meeting, Budapest 27-28 september 2001. 11p.
- Rigollier C., Lefèvre M., Wald L. 2003 - The method Heliosat-2 for deriving shortwave solar radiation data from satellite images. Submitted to *Solar Energy*, September 2003. 41 p.
- Wald L. et al. 2002 – SoDa : a project for the integration and exploitation of networked solar radiation databases. *Environmental Communication in the Information Society*, 713-720.

**L'ÉVOLUTION DE LA CLIMATOLOGIE
À TRAVERS LES PUBLICATIONS DE L'AIC DE 1989 À 2000 :
ANALYSE PROVISOIRE**

A. Hufty

Université Laval, Québec
e-mail : andre.hufty@ulaval.ca

Préambule

Comme climatologues, nous traitons une multitude de sujets et le nombre d'articles semblables dans ces publications est fort restreint, sans compter que, même dans ce dernier cas, les mots-clés inscrits par les auteurs sont différents et il ne semble pas, en l'absence d'un thésaurus, exister d'autre règle que l'idée que chacun s'en fait. Nous avons donc affaire, pour analyser ces publications, à un ensemble de près de 600 articles fournissant plusieurs milliers de mots-clés, dont beaucoup sont des synonymes, des périphrases, des emprunts à d'autres disciplines quand ce n'est pas à la langue de bois.

Pour dégager des ensembles cohérents et permettre ainsi un classement, il faut rassembler des mots sous une étiquette commune en utilisant le corpus fourni par les auteurs. Quelques règles pratiques nous ont guidé dans cette recherche empirique :

- d'abord viser à conserver des occurrences de mots raisonnables, entre 1 et 10 pourcents des articles, quitte à laisser subsister quelques irréductibles : en effet un mot tel que « climatologie » est inutile et n'a aucun pouvoir discriminant puisqu'il peut figurer sous la quasi totalité des résumés... et inversement disons « tache solaire », s'il n'est pas englobé dans un terme plus général, ne renvoie qu'à un ou deux textes, c'est-à-dire à un nombre de classes quasi équivalent au nombre de références.
- ensuite, indépendamment des articles eux-mêmes, pour rester objectif, il reste à assembler progressivement des mots voisins, simplifier les expressions redondantes, éliminer les pluriels et les adjectifs inutiles... C'est un travail long, nécessairement arbitraire et frustrant parce qu'il faut appauvrir, supprimer des nuances tout en permettant l'émergence de quelques néologismes ; un thésaurus correspond à un état provisoire de la langue de la discipline mais ne peut la figer.

1. La méthode

L'analyse repose donc d'abord sur la constitution d'une liste de mots-clés qui décrivent le contenu de chaque référence. Cette liste est ensuite complétée, pour les plus fréquents d'entre eux, par celle des doublets, c'est-à-dire les co-occurrences de couples de mots toujours dans chaque référence, qui vont permettre de saisir les structures de contenus sous-jacentes au vocabulaire : les mots-clés qui forment des couples avec des gammes quasi semblables avec d'autres mots sont associés en thèmes communs. Une analyse en composantes principales avec rotation de ces gammes va faciliter la tâche (nous renvoyons à : A. Hufty, Publications A.I.C., 1994, pp.15-23).

Principaux mots-clé :

Tableau 1 : Mots-clés : nombre d'articles où ils apparaissent.

Précipitations	112	Vent	30
Sécheresse	61	Dynamique de l'atmosphère	29
Situation synoptique	58	Bilan hydrique	27
Téledétection	55	Brise	25
Variabilité climatique	52	Végétation	25
Cartographie	49	Climat régional	24
Pollution atmosphérique	44	Modifications paysagères	22
Circulation atmosphérique	39	Émissions de polluants	18
Fluctuation climatique	38	Climat stationnel	17
Extrême	35	Déficit hydrique	17
Température	34	Convection	16
Modélisation	33	Nuage	16
Topoclimatologie	33	Environnement	15
Changement climatique	33	Interpolation spatiale	14
Cartographie	33	Îlot de Chaleur	14
Analyse multivariée	33	Oscillation barométrique	14
Températures	31	Lignes de grains	10
Climat Urbain	30	Ozone troposphérique	10
Série chronologique	30	Réseau	10

Note : la liste complète a été réduite à une centaine de mots.

2. Les thèmes principaux

Nous décrivons les premières conclusions, limitées aux groupes les plus fréquents. Le tableau qui suit va nous aider à faire le tri.

Tab. 2 : Extrait des saturations de mots-clés sur 5 facteurs, après rotation varimax

Mots :	F1	F2	F3	F4	F5
Sécheresse	+0.92	-	-	-	-
Fluctuation climatique	+0.88	-	-	-	-
Température	-0.54	-	-	-0.60	-
Topoclimat	-0.52	-	-	-0.63	-
Série chronologique	+0.51	-	+0.62	-	-
Dynamique de l'atmosphère -	-	-0.92	-	-	-
Situation synoptique	-	-0.88	-	-	-
Extrême	-	-0.83	-	-	-
Circulation atmosphérique -	-	-	-0.68	+0.50	-
Températures	-	-	+0.95	-	-
Changement climatique	-	-	+0.88	-	-
Téledétection	-	-	-0.59	-	+0.58
Analyse multivariée	-	-	-	+0.87	-
Cartographie	-	-	-0.41	+0.85	-
Précipitations	+0.45	-	-	+0.77	-
Pollution de l'air	-	-	-	-	-0.91
Modélisation	-	-	-	-	-0.78
Variation climatique	+0.44	-	-	-	-

SÉCHERESSE : des fluctuations et oscillations de périodes décennales sont caractérisées par des séries chronologiques de précipitations déficitaires (très fréquentes en 1992-93). Ces études sont reliées à des bilans hydriques et à leurs conséquences sur l'environnement ou l'économie ; leur domaine est la bordure saharienne tant côté africain que méditerranéen.

DYNAMIQUE : une gamme assez hétérogène rassemble des circulations régionales calculées à partir des centres de pressions, ou des situations synoptiques sous toutes les latitudes plus nombreuses avant 1995. Des extrêmes, aléas, paroxysmes, anomalies accompagnent cette dynamique : vent, orages, trombes, verglas, cyclones...

TEMPÉRATURES : des séries chronologiques observées à des stations précises montrent une grande variabilité spatio-temporelle des climats. La question des changements climatiques est posée mais il ne faut pas confondre un réchauffement récent qui jusqu'à nouvel ordre relève d'une fluctuation décennale, avec un changement qui doit s'étendre sur plus de 30 ans pour mériter cette appellation.

ANALYSES : ces méthodes d'analyses multivariées, surtout les « composantes principales » sont plus utilisées que les statistiques des séries isolées ; elles permettent une cartographie et une régionalisation (climat régional) de la variation des précipitations surtout en Méditerranée qui est en mise en relation avec des oscillations barométriques semi planétaires ; leur nombre a un peu augmenté pendant la période étudiée.

TOPOCLIMATS : les études locales s'intéressent à deux éléments : les températures avec le gel nocturne ou les îlots de chaleur urbains et les vents locaux ou brises. De petits réseaux de mesures sont organisés permettant de poser la question d'échelle des phénomènes. Ces travaux restent peu nombreux malgré l'intérêt de mieux cerner l'effet des modifications de sites sur les mesures.

POLLUTION : quelques centres de recherches, à Strasbourg, en Suisse et dans des centres urbains en France surtout observent et modélisent les émissions, les concentrations de gaz, de poussières et d'ozone. Cette modélisation tient compte de la ventilation et a tendance à prendre de l'importance au fil des années.

TÉLÉDÉTECTION : des utilisations fort diverses de l'imagerie satellitale pour la cartographie de la végétation (indice NDVI), ou du contenu en eau des sols, ou de la neige (micro-ondes) et l'observation des nuages de convection ou des lignes de grains (Météosat). On note un certain déplacement de l'intérêt des zones intertropicales vers les régions arctiques.

Conclusions

Le visage présenté par ces publications, si impressionnant soit-il par la quantité, reste assez traditionnel : la climatographie domine avec l'utilisation des données de précipitations et de températures analysées avec des programmes statistiques aisément disponibles. Des notions plus anciennes sont abandonnées, par exemple les limites ou les facteurs climatiques ou la classification des types de temps... et beaucoup de domaines de recherche récents n'apparaissent que bien timidement : la paléoclimatologie, la modélisation générale de l'atmosphère, les échanges énergétiques, la bioclimatologie humaine, les scénarios, les risques, les effets des modifications paysagères sur les mesures... Il y a bien des réseaux de mesures locales, une modélisation de la pollution, l'utilisation croissante de la télédétection... mais ces domaines sont les moins couverts.

Il faut enfin reconnaître une amélioration de la qualité due en partie à la vigilance du comité de lecture. Cependant ni les thèmes proposés à l'occasion de chaque colloque et de chaque publication ni les réflexions du comité n'ont endigué la grande dispersion des articles. Faut-il - réflexion finale - admettre que la climatologie est simplement ce que font les climatologues ou collectivement favoriser des directions de recherches et des prises de position dans le débat actuel sur le climat, donc orienter les publications ?

RÉFLEXIONS SUR TRENTE ANNÉES D'USAGE DE LA TÉLÉDÉTECTION SATELLITALE EN CLIMATOLOGIE

C. Kergomard

École Normale Supérieure de Paris, Département de Géographie
Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés
CNRS/UMR 8141, Université des Sciences et Technologies de Lille
e-mail : claud.kergomard@ens.fr

Résumé : Les progrès de l'utilisation des données des satellites météorologiques pour la climatologie depuis le milieu des années 70 sont analysés dans une perspective historique. L'accent est mis plus particulièrement sur les relations entre climatologues géographes et physiciens.

Mots-clés : télédétection, satellites météorologiques, climatologie, histoire.

Abstract: Advances in using data provided by meteorological satellites for climatological studies since the mid-70's are examined from an historical point of view. Emphasis is on relationships between physicists and geographers in climatology.

Key-words: Remote sensing, meteorological satellites, climatology, history.

Introduction

Si le lancement du premier satellite météorologique (Tiros 1) eut lieu en 1960, c'est en réalité il y a trente ans, peu avant le milieu des années 70, que cette surveillance entra dans sa phase opérationnelle. Les images fournies par les radiomètres opérant dans le visible et l'infrarouge thermique à bord des satellites météorologiques à défilement de la NOAA et des premiers satellites géostationnaires sont dès lors disponibles de façon continue, préfigurant la mise en place, effective à partir de 1978-79, d'un dispositif international et permanent de Veille Météorologique Mondiale fondé sur la complémentarité des deux types de satellites.

Dès cette époque, les climatologues, et parmi eux les climatologues géographes, ont perçu l'intérêt de ces instruments et des données qu'ils fournissent pour des applications qui débordent sensiblement la prévision météorologique.

1. La séduction de l'image

Dans le contexte technique des années 70, la forme unique de diffusion des données fournies par les satellites météorologiques est la restitution photographique en noir et blanc, images visible et infrarouge séparées. Ouvert dès 1963, le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion distribue et archive alors sous cette forme l'essentiel des données reçues. La vision instantanée et « objective » des systèmes nuageux qu'offrent ces photographies séduit tout particulièrement les géographes climatologues pratiquant la climatologie synoptique, qui s'attache à l'analyse des situations météorologiques à partir de documents qui sont aussi ceux des prévisionnistes. La résolution spatiale kilométrique et la complémentarité des images visible et infrarouge thermique permettent de distinguer et d'analyser finement les formes et les types de nuages (néphanalyse), d'illustrer ou compléter ainsi l'étude des processus météorologiques et des types de situations, surtout aux échelles zonale et synoptique. La diffusion large du manuel de Barrett (1974), et les premiers travaux de recherches

exploitant de façon précise l'imagerie visible et infrarouge (Tonnerre, 1975), marquent l'apparition de ce nouvel outil. Rapidement, l'analyse des photographies météorologiques satellitales accède au rang d'exercice pour la formation des étudiants en climatologie, comme elle l'est pour la formation des ingénieurs de la Météorologie, ce dont témoigne le succès du manuel spécialisé élaboré au CMS de Lannion (1988). Aujourd'hui banalisé et facilité par l'omniprésence des images numériques, en composition colorée et en animation, à la télévision et sur Internet, ce savoir-faire n'en garde pas moins un grand intérêt.

2. La dimension temporelle

La mise en place, à partir de 1978, du système permanent de Veille Météo-rogique Mondiale, a presque aussitôt posé le problème de l'exploitation de la série temporelle, en augmentation continue, représentée par des images acquises avec une fréquence de deux ou quatre images par jour pour les satellites à défilement, d'une image toutes les demi-heures pour les géostationnaires. L'établissement d'une climato-logie fréquentielle de la nébulosité et des types de nuages a été bien évidemment une des premières applications envisagées. À une époque où les possibilités de traitement numérique des données restaient limitées, l'utilisation de l'archive sous sa forme photo-graphique a fait l'objet d'un certain nombre de tentatives de la part des géographes cli-matologues, pour l'étude, à l'échelle régionale, de la nébulosité sur le territoire français (Mounier et Lozac'h, 1981) ou pour l'étude, à l'échelle zonale, des systèmes nuageux de la zone intertropicale et en particulier des espaces océaniques, permettant de pallier la pauvreté des données d'observation et la piètre qualité des documents synoptiques traditionnels (Lamarre et al., 1984, Tabeaud, 1989).

L'exploitation des photographies satellitales a été cependant rapidement dépassée par les méthodes physiques et numériques du traitement des données mises en œuvre dans le cadre de projets internationaux dont le premier fut l'expérience I.S.C.C.P. - In-ternational Satellite Cloud Climatology Program- (Schiffer et Rossow, 1983), dans le cadre du Programme Mondial de Recherche sur le Climat. S'appuyant sur la collab-oration ou l'émulation au sein d'une très vaste communauté de physiciens, dont en France ceux de laboratoires tels que le LMD –Laboratoire de Météorologie Dynamique- (Des-bois et Sèze, 1984), I.S.C.C.P. a produit une base de données largement diffusée, cohé-rente à l'échelle planétaire et continuellement augmentée (elle couvre aujourd'hui une période de 20 ans), sur la répartition spatio-temporelle de la nébulosité, des types de nuages et de leurs propriétés radiatives et microphysiques. La résolution spatiale des produits ISCCP, nettement inférieure à celle des images d'origine, est définie en fonc-tion de la grille des modèles climatiques. ISCCP ouvre la voie à un grand nombre d'« expériences » visant à exploiter les données fournies par les capteurs, de plus en plus diversifiés, installés à bord des satellites météorologiques opérationnels ou expérimentaux : sondeurs atmosphériques et radiomètres infrarouge ou micro-ondes destinés à mesurer la composition de l'atmosphère (vapeur d'eau, CO₂, ozone, aérosols), ou à dé-tecter et mesurer certains processus (précipitations, vents).

Contrairement à l'imagerie, les produits numériques d'ISCCP, et a fortiori ceux qui sont issus de l'exploitation de capteurs non-imageurs, ne sont guère utilisés dans les travaux des climatologues géographes. Il faut sans doute y voir une conséquence du divorce, qui s'affirme dans les années 80, entre la climatologie des physiciens qui, en relation avec l'essor de la modélisation numérique du climat, privilégie l'échelle globale et tente de répondre aux préoccupations liées aux effets de l'augmentation des gaz à effet de serre, et la climatologie géographique surtout préoccupée par la spatialisation du climat aux échelles régionale et locale.

3. La signification du signal radiométrique

Une fraction des données acquise par les satellites météorologiques concerne des régions non-nuageuses de la planète ; la solution des difficultés liées à la discrimination des nuages ouvrirait la voie à leur exploitation. Dans le cas des surfaces marines, le lien physique entre le signal radiométrique acquis par les radiomètres visible et infrarouge a pu être assez simplement relié à des paramètres tels que la température de surface de la mer, la turbidité ou la biomasse phyto-planctonique. Dans le cas

des surfaces continentales, qui n'ont pas la même homogénéité, l'interprétation du signal a mobilisé, comme pour la couverture nuageuse, la communauté internationale des physiciens dans le cadre du programme ISLSCP –International Satellite Land Surface Climatology Program- (Bolle et al., 1988) et plusieurs expériences de terrain telles qu'HAPEX-MOBILHY dans le Sud de la France (André et al., 1990). Ainsi ont été progressivement définis les liens physiques existant entre la mesure satellitale et les et les termes des bilans radiatif (Dedieu et al., 1987) et énergétique à la surface des continents, incluant l'évapotranspiration réelle (Seguin et Itier, 1983), la biomasse et le stress hydrique de la végétation (Tucker, 1986).

Pour beaucoup de géographes climatologues francophones, c'est à travers les travaux appliqués à l'Afrique et l'Atlantique tropical et menés dans le cadre du programme ORSTOM/Météo-France de la Veille Climatique Satellitaire (Guillot, 1985, Lahuec et Guillot, 1994), que sont apparus l'intérêt et la complémentarité des nombreux paramètres susceptibles d'être extraits de l'imagerie, concernant aussi bien les nuages (fréquences d'occurrence des nuages convectifs à sommet froid), l'océan (températures de surface de la mer), et les surfaces continentales (températures radiatives, indice de végétation NDVI) pour un suivi spatio-temporel de phénomènes climatiques. Le colloque de l'Association Internationale de Climatologie de Lannion et Rennes (AIC, 1990) a été un moment fort des échanges entre géographes, physiciens et météorologues sur le thème de l'utilisation des données de satellites météorologiques pour la climatologie.

4. L'obstacle de la résolution spatiale ?

Dans les années 90, la diffusion accrue des outils informatiques et des logiciels de traitement d'image facilite en principe l'usage de l'imagerie satellitale météorologique. Quelques travaux, menés par exemple dans le cadre de thèses, marquent un regain de l'investissement des climatologues géographes dans ce domaine.

Pour certains, qui pratiquent la climatologie diagnostique à petite échelle, les données d'origine satellitale sont exploitées sous la forme de « produits géophysiques » élaborés, en complément des données d'observation et des données issues de modèles numériques, et à des résolutions plus proches de la grille de ceux-ci (100 km et plus) que de la résolution effective des satellites. Les travaux les plus originaux sont ceux qui exploitent à l'échelle régionale les données à résolution kilométrique de l'imageur NOAA-AVHRR, qu'il s'agisse d'analyser la variabilité interannuelle de la sécheresse dans l'Ouest de la France (Dubreuil, 1994) ou la fréquence d'occurrence des brouillards en Alsace (Wahl, 1997), de combiner mesures de la température de l'air et imagerie thermique en vue d'une spatialisation des aspects thermiques du climat.

C'est en effet dans la compatibilité réduite entre la résolution spatiale propre aux satellites météorologiques et les échelles locales, celles du topoclimat ou du climat urbain, qui sont privilégiées par la climatologie appliquée (topoclimatologie, climatologie urbaine) qu'il faut rechercher l'explication de la part somme toute modeste qu'occupe l'exploitation de l'imagerie satellitale dans les travaux des géographes climatologues. Il est souhaitable que l'émergence d'une nouvelle généralisation de satellites météorologiques, qui offrent à la fois une résolution spatiale améliorée et une fréquence d'observation accrue, soit l'occasion de voir émerger de nouvelles applications des données satellitales dans les travaux de la climatologie géographique.

Références bibliographiques

AIC, 1990 : Climatologie et Télédétection, Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 3, 443 p.

ANDRÉ, J.-C., BOUGEAULT Ph., et GOUTORBE, 1990 : Regional estimates of heat and evaporation fluxes over non-homogeneous terrain, Examples from the HAPEX-MOBILHY programme, *Boundary-Layer Meteorol.*, 50, p. 77-108.

BARRETT E.C., 1974 : *Climatology from satellites*, Methuen, London, 418 p.

BECKER F., BOLLE H.J., ROWNTREE P.R., 1988 : *The International Satellite Land Surface Climatology*

- Project, ISLSCP report n°10, United Nations Environmental Program, Berlin, 100 p.
- CMS Lannion, 1988 (réédition) : Photographies météorologiques satellitaires. Interprétation, utilisation, Connaissance de la météorologie n°2. 2 fascicules, 45 & 152 p. Météo-France.
- DEDIEU, G. DESCHAMPS P.Y., KERR Y.H., 1987 : Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the Earth and of surface albedo using a physical model applied to Meteosat data, J. Clim. Appl. Meteor. 26, pp.79-87.
- DESBOIS, M., et SÈZE G., 1984 : Use of space and time sampling to produce representative satellite cloud classifications. Ann. Geophys., 2(5), p. 599-606.
- DUBREUIL V. 1994 : La sécheresse dans la France de l'ouest : étude au moyen des bilans hydriques et des images des satellites NOAA/AVHRR. Thèse, Université Rennes 2. 381 p. et annexes.
- GUILLOT B., 1985 : Le programme de veille climatique satellitaire, La Météorologie, vol 9 (octobre), pp. 60-63.
- LAHUEC J.P. et GUILLOT B., 1994 : Satellite et surveillance du climat, Atlas de veille climatique : 1986-1994 (Afrique et Atlantique intertropical), ORSTOM Editions, 93 p.
- LAMARRE D., MOUNIER J., TABEAUD M., 1984 : Interprétation de la circulation atmosphérique d'après les images de satellites géostationnaires GOES-EST et METEOSAT (Chronique climatologique), Revue Géographique de l'Est, XXIV, 1, pp. 89- .
- MOUNIER J. et LOZAC'H M., 1981 : L'étude de la nébulosité au-dessus de la France à partir des photos de satellites, Eaux et climats, mélanges géographiques offerts en hommage à Charles-Pierre Péguy, Grenoble, pp.353-368.
- SCHIFFER R. A. et ROSSOW W. B., 1983: The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The first project of the World Climate Research Program. Bull. Amer. Meteor. Soc., 64, pp. 779-784.
- SEGUIN, B., ITIER, B. 1983 : Using midday surface temperatures to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data, Int. J. Rem. Sens., 4, pp. 371-383.
- TABEAUD M., 1989 : L'Atlantique tropical austral : L'eau atmosphérique et le climat en milieu océanique, thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris IV, 439 p.
- TONNERRE M.A., 1975 : Contribution des images de satellites à l'étude des secteurs de traîne des perturbations des moyennes latitudes, Actes des Journées de Climatologie de Dijon, nov. 1975, pp. 135-167.
- TUCKER C.J., 1986 : Maximum Normalized Difference Vegetation Index images for subsaharan Africa, Int. J. Rem. Sens., 7, 11, p. 1-15.
- WAHL L., 1997 : La dynamique spatio-temporelle des brouillards de rayonnement dans le Fossé Rhénan méridional à l'aide d'images NOAA – AVHRR, Thèse, Université Louis-Pasteur, Strasbourg.

**CHANGEMENTS CLIMATIQUES, TRANSFORMATIONS DES PAYSAGES ET SOURCES
ANCIENNES : L'EXEMPLE DU TÉMOIGNAGE DE THÉOPHRASTE
À PROPOS DE LA PLAINE DE PHILIPPES (GRÈCE)**

L. Lespez¹ et G. Tirologos²

¹ Géophen, UMR 6554 CNRS LETG, UFR de Géographie, Université de Caen-Basse Normandie
e-mail : laurent.lespez@geo.unicaen.fr

² Institut des Sciences et Techniques de l'Antiquité ISTA-UMR 6048 CNRS
Université de Franche-Comté
e-mail : georges.tirologos@univ-fcomte.fr

Résumé : Le témoignage de Théophraste sur la plaine de Philippes décrit précisément des mutations paysagères en relation avec l'intervention des hommes au cours de l'époque hellénistique et leurs conséquences climatiques. L'examen critique du texte basé sur des recherches historiques et paléoenvironnementales révèle son imprécision. Néanmoins, les qualités d'observation de Théophraste lui permettent de s'affranchir du jeu de la pensée spéculative particulièrement prisé de ses prédécesseurs et de fonder ainsi une véritable démarche de naturaliste appliquée aux phénomènes climatiques.

Mots clés : Paysage, Climat, Antiquité, Sources anciennes, Grèce

Abstract: The Theophrastus account about the plain of Philippi describes precisely landscape changes in relation with human activity during the Hellenistic period and their climatic consequences. A review of the text based on historical and palaeoenvironmental researches gives evidences of its imprecision. Nevertheless, the Theophrastus willingness to not be submitted to general explanation and its observation sense has found a naturalist approach to understand climatic and meteorologic phenomena.

Key words: Landscape, Climate, Antiquity, Ancient sources, Greece

Introduction

Les auteurs antiques se sont souvent préoccupés du climat et de son évolution. Cet intérêt est présent chez les naturalistes et les historiens qui ont examiné les liens entre les sociétés et leur environnement, en particulier sous l'angle climatique. C'est le cas de Théophraste (372-287 av. J.-C.) qui dans le paragraphe XIV du livre V de son traité de botanique intitulé « *De causis Plantarum* » évoque ainsi la plaine de Philippes (Macédoine orientale, Grèce) :

« A Philippes autrefois l'air était lourd ; il l'est beaucoup moins depuis que le terroir a été asséché et est devenu tout entier cultivable. L'air est plus léger pour deux raisons conjointes : l'assèchement et la mise en culture. En effet, la friche est plus froide et l'air y est plus lourd à cause de la végétation qui empêche la lumière du soleil de passer et l'air de circuler et parce qu'elle est pleine d'eau qui suinte et stagne. C'est ainsi autour de Krénidès quand les Thraces l'occupaient ; toute la plaine était couverte d'étangs et d'arbres »¹.

La communication propose une analyse de ce texte fondée sur le regard croisé de l'analyse historique et de l'analyse géographique et paléo-environnementale.

¹ Traduction de Claude Vatin (1984), p. 270.

1. Théophraste, descripteur de la Nature et de ses changements

L'intérêt du texte de Théophraste réside dans sa description précise d'un changement climatique et dans son explication par une double causalité dans laquelle l'action des hommes joue un rôle central. Examiner la valeur du propos, c'est d'abord se poser la question de l'auteur, de la valeur de ses observations scientifiques et de sa connaissance de la région évoquée.

1.1. Philosophe et naturaliste

Théophraste a d'abord été un disciple de Platon puis d'Aristote dont il devient l'élève le plus dévoué, puis son successeur à la direction du Lycée qu'il gouverna durant environ 35 ans. Philosophe et naturaliste avant tout, Théophraste intervient dans des domaines variés comme en témoigne le nombre considérable des traités qu'il a rédigés¹. De cette œuvre monumentale, trois ouvrages seulement nous sont parvenus dont « *De causis plantarum* », dans lequel Théophraste cherche à expliquer les différences entre les espèces d'après les grands principes de la philosophie d'Aristote.

Néanmoins, dans ces explications des phénomènes naturels, Théophraste se distingue d'Aristote par sa capacité à reconnaître des causalités multiples, par son utilisation des observations directes et d'une argumentation qui utilise les analogies avec des observations issues de l'expérience commune (Taub, 2003).

1.2. Un observateur crédible

Le témoignage de Théophraste est la seule source d'information dont nous disposons sur des opérations entreprises à l'époque macédonienne pour l'assèchement et la mise en valeur des zones humides qui ont occupé, jusqu'au début du XX^e siècle, les parties basses de la plaine de Philippes. Néanmoins, les références à cette région présente dans les deux traités botaniques de l'auteur grec ne laissent aucun doute quant à la fiabilité de son témoignage. L'exactitude des descriptions botaniques, hydrologiques et plus généralement des qualités agronomiques du terroir philippien permet de penser qu'une partie au moins d'entre elles est issue d'observations personnelles. Même en l'absence de preuve formelle du voyage à Philippes², il est vraisemblable que la Macédoine orientale a constitué un des terrains de recherche de l'auteur grec.

Le crédit à accorder aux propos de Théophraste est encore renforcé par sa méfiance envers les théories fondées sur le jeu de la pensée spéculative et son intérêt particulier pour les « aspects reconnus et manifestes » des phénomènes naturels (« *Historia plantarum* », III, 1 5.) qu'il s'applique à examiner sur le terrain et à décrire de manière méthodique sans chercher automatiquement à les interpréter en fonction d'un déterminisme donné.

2. Un témoignage sur la dynamique des milieux palustres

L'évaluation précise des propos de Théophraste nécessite une étude des spécificités topographiques et hydrologiques locales ainsi que des opérations réalisées par les colons macédoniens que seule une lecture conjointe des données archéologiques et paléo-environnementales est susceptible de fournir.

2.1. La persistance des espaces marécageux

Les cartes de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècles fixent assez clairement les limites des espaces palustres avant les grandes opérations de drainage des zones humides engagées entre 1924 et 1936. Leur examen attentif révèle l'existence de deux types d'espaces marécageux. Le marais, proprement dit, et ses marges. Le marais est souvent qualifié de lac ou de lac marécageux. Les témoignages historiques attestent d'ailleurs sa traversée par des bacs au moins en hiver (Heuzey, Daumet, 1876). Les sources littéraires confirment l'existence de ces milieux au cours de l'époque byzantine et de

¹ Diogène Laërce recense près de 240 ouvrages portant sur la morale et la politique, sur l'histoire des sciences et de la philosophie, sur la physique et la psychologie, sur la logique et la métaphysique ou encore sur la climatologie, la botanique, la zoologie et la physiologie.

² Il est généralement admis que Théophraste a dû entreprendre les investigations botaniques dans la région durant son séjour en Macédoine, entre 343 et 335 av. J.-C., où il avait suivi Aristote lorsque celui-ci a pris en charge l'éducation du jeune Alexandre.

l'Antiquité romaine (Lespez, 1999). Au 1^{er} siècle av. J.-C., le récit de la bataille de Philippes (42 av. J.-C.) par Appien atteste l'importance des espaces marécageux qui ont joué un rôle stratégique dans le déroulement des combats¹. Les témoignages manquent pour les époques plus anciennes mais les carottages effectués dans le marais révèlent la permanence du marais en grande partie couvert de roseaux au cours de l'Holocène y compris au cours de l'époque hellénistique (Greig, Turner, 1974).

2.2. La mobilité des marges

Autour de cette zone centrale, qui ne semble pas avoir été concernée par les aménagements du IV^e siècle av. J.-C., se développait au XIX^e siècle, une ceinture de terrains inondables. Les recherches paléoenvironnementales et archéologiques attestent la mobilité de cette ceinture. Elle a été soumise à l'alluvionnement à partir du Bronze Récent (Lespez 2003) et fut caractérisée par un peuplement important au cours de l'Antiquité s'appuyant sur un potentiel agro-pastoral indéniable dès lors qu'un drainage naturel ou artificiel fut établi. Ce sont sans doute ces terrains, situés au nord-ouest et au sud-est de la cité de Philippes, qui ont fourni l'essentiel des terres disponibles aux vagues de colonisation des époques macédonienne et romaine comme ce fut d'ailleurs le cas au moment de l'arrivée des réfugiés grecs d'Asie Mineure au début du XX^e siècle (Lespez, 1999). Le vocabulaire utilisé par Théophraste pour désigner les zones asséchées par les travaux des colons macédoniens vient appuyer cette hypothèse car il n'emploie pas les termes *έλος* ou *λίμνη* (marais, lac), mais il préfère le mot *αργός*, qui signifie plutôt une terre inculte laissée en friche.

Au sud de Philippes, l'existence de nombreuses traces d'un parcellaire fossile attribuable à l'Antiquité renforce ces observations. Néanmoins, les modalités de l'aménagement de ces espaces restent difficiles à préciser. L'absence d'orientation des traces fossiles en direction du marais ne permet pas de les interpréter comme les témoignages d'un réseau de drainage. Ainsi, il est impossible d'affirmer que ces espaces agricoles ont été conquis par d'importants travaux d'assèchement ou à l'occasion d'une période de retrait des étendues palustres suite à une période de climat plus sec. Une telle fluctuation est d'ailleurs attestée en Méditerranée orientale pour le IV^e siècle av. J.-C. (Issar, 2003).

Conclusion

Théophraste et la compréhension du climat à l'époque hellénistique

L'étude archéologique et paléoenvironnementale montre que les mutations paysagères évoquées par Théophraste ont dû avoir une extension relativement faible et une localisation différente de celles supposées par certains historiens. Ainsi, ce témoignage nous apprend plus de choses sur son auteur et sa pensée climatique que sur la réalité des phénomènes qu'il décrit. D'un point de vue hydrologique, l'accroissement de l'humidité de l'air en relation avec la présence des milieux humides est parfaitement évoqué. En revanche, les effets thermiques de l'assèchement et du drainage sont appréhendés d'une manière qui ne peut rendre compte de leur complexité. D'ailleurs, de ce point de vue, le raisonnement de Théophraste n'était pas ferme comme en témoignent les quelques lignes écrites plus haut à propos de la plaine de Larissa :

« D'une façon générale, les lieux qui auparavant n'étaient pas soumis aux gelées, parce que l'air y était épais, sont maintenant sujets à des gelées, comme la région de Larissa en Thessalie. Autrefois, alors que l'eau y était abondante et que la plaine était marécageuse, l'air était épais et le pays plus chaud ; après l'évacuation de cette eau, que l'on a empêchée de stagner, le pays est devenu plus froid et les gelées plus abondantes »².

Le témoignage de Théophraste comme l'ensemble de son œuvre botanique et climatique témoigne donc d'une pensée en train de se construire. A l'image d'autres scientifiques grecs, il témoigne de la croyance de Théophraste dans la capacité de comprendre rationnellement les phénomènes climatiques. Ses qualités d'observation lui permettent de s'affranchir du jeu de la pensée spéculative

¹ Au cours du premier engagement, les soldats d'Antoine ont entamé pendant dix jours la construction d'une route passant par les marais, afin de prendre à revers les troupes de Cassius. Celui-ci se rendit compte bien tard de la manoeuvre, car la construction de la route était masquée par une "forêt de roseaux". APPIEN, *Bella Civilia*. 4, 105-106.

² *De causis Plantarum V, XIV, 2*, Trad. de Gilbert Argoud, dans « Eau et agriculture en Grèce », p. 37.

particulièrement prisée de ses prédécesseurs et fondent ainsi une véritable démarche de naturaliste. Celle-ci prend en compte l'action des sociétés dans les changements climatiques dans une démarche qui n'est pas sans actualité.

Références bibliographiques

GREIG J. ET TURNER J., 1974. Some pollen diagrams from Greece and their archaeological significance, *Journal of Archeological Science*, 1, p. 177-194

HEUZEY L. ET DAUMET H., 1876. *Mission archéologique de Macédoine*, Paris.

LESPEZ L., 1999. *L'évolution des modelés et des paysages de la plaine de Drama et de ses bordures au cours de l'Holocène (Macédoine orientale, Grèce)*, Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II.

LESPEZ L., 2003. Geomorphic responses to long-term land use changes in Eastern Macedonia (Greece). *Catena*, 51, 3-4, pp. 181-208.

ISSAR A., 2003. *Climate changes during the Holocene and their impact on hydrological systems*. International Hydrology Series, UNESCO, Cambridge University Press.

TAUB L., 2003. *Ancient Meteorology*, Routledge, London.

VATIN C., 1984. Lettres adressées à la cité de Philippes par les Ambassadeurs auprès d'Alexandre, *Πρακτικά της Η' Διεθνούς Συνεδρίου Ελληνικής και Λατινικής Επιγραφικής*, Athènes 1984, p. 259-270.

THÉOPHRASTE, 1988. *Recherches sur les plantes*. Coll. Budé, Les Belles-Lettres, Paris.

RÉGIONS SANS MESURES ET ESTIMATIONS DES PARAMÈTRES

R. Morel

Ingénieur Général d'Agronomie (C.H.)

e-mail : bobmorel@ifrance.com

Résumé : Si la répartition spatiale des données laisse de grands vides, les meilleures couvertures posent le problème d'aire de validité en applications agro-climatiques. Les méthodes d'interpolation peuvent utiliser des données mesurées, avec leurs lacunes, ou les grilles de ré analyse. L'emploi des mesures satellitaires améliore la qualité des estimations régionales.

Mots-clés : Afrique Ouest, Validité des estimations, Mesures de substitution, Echelles de travail

Abstract : If the spatial distribution of the big emptiness data leash, the best covers put a problem of validity area in agro-climatic applications. Methods of interpolation can use the measured data with their hiatuses or reanalysis grids. The use of measures by satellite improves the regional evaluation quality.

Key Words: West Africa, Validity of evaluations, Measures of substitution, working scales,

Introduction

En Afrique de l'ouest, si les postes de relevés pluviométriques sont souvent assez nombreux sur le terrain, la répartition spatiale des stations synoptiques ou climatiques qui mesurent les autres paramètres laisse apparaître des zones vides. Dans le pire des cas, aux confins de l'Algérie, du Mali et de la Mauritanie on a une zone sans mesure sur plus de 120 degrés carrés, au mieux l'implantation des stations est souvent inférieure à une par degré carré. Dans ce dernier cas, peut-on appliquer ces relevés à une région de 12000 km carrés ? Les données absentes peuvent être calculées de différentes façons à partir des valeurs existantes soit observées soit déjà interpolées. Nous allons comparer les valeurs quotidiennes obtenues avec les mesures effectives. Nous montrerons que l'emploi de mesures intermédiaires améliore les résultats des modèles agroclimatiques.

1. Evaluation des valeurs manquantes.

Les modèles agroclimatiques sont de plus en plus sophistiqués, leur pas de temps passe de la décade à la pentade et même à la journée. Leur précision ne correspond plus à la validité des paramètres climatiques disponibles. Les données climatiques sont estimées avec une résolution d'un quart de degré carré. Si on dispose d'un modèle numérique de terrain on tient compte de la topographie. Le plus souvent on calcule une grille par krigeage (Merlier, 2001) mais le rayon à prendre en compte est souvent très grand. Comme les données mesurées sont de plus en plus rares ou difficiles à obtenir des calculs ont été faits sur 25 ans pour 6 paramètres sur 4 stations bordant le Sahara et 4 stations du Mali utile. La comparaison a été faite avec les valeurs effectivement mesurées.

2. Validité des estimations

2.1. au pas de temps annuel

L'écart le plus grand est pour les températures minimales. L'interpolation sous estime de 3,1 °C (écart de 16%) avec une étendue de 4,1 ° à 2,3 °C (fig. 1). Les maxima toujours évalués trop fortement (fig. 2) restent à un niveau correct +3,4% ou 1,1°C. Les autres paramètres sont convenablement interpolés par exemple excès de 0,8 millibars pour les pressions. Les vitesses de vent sont sous estimées de 7,1% (0,4 m/sec, ce qui reste faible).

Fig. 1 : Températures minimales interpolées et observées.

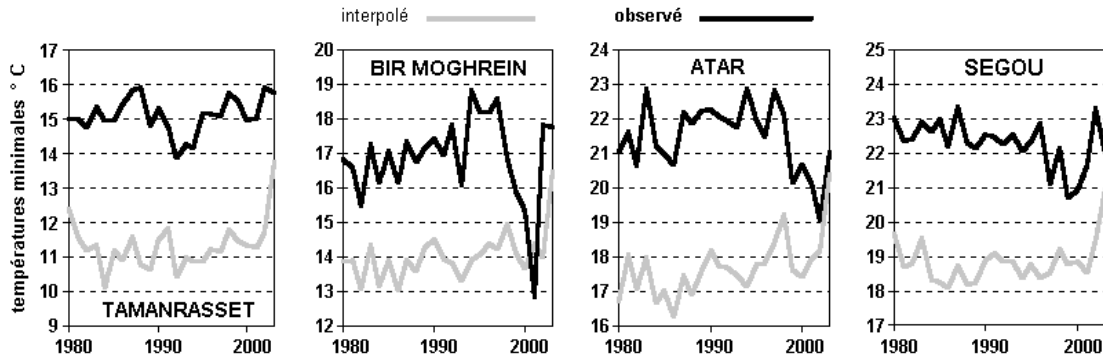
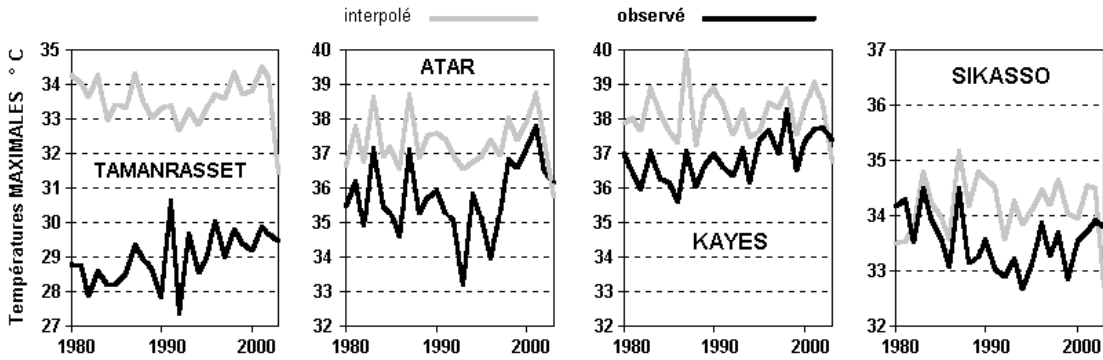


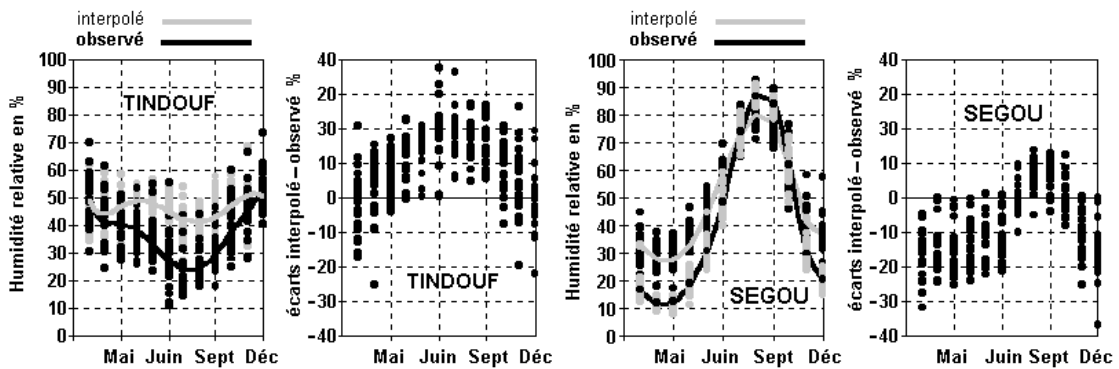
Fig. 2 : Températures maximales interpolées et observées



2.2. au pas de temps mensuel.

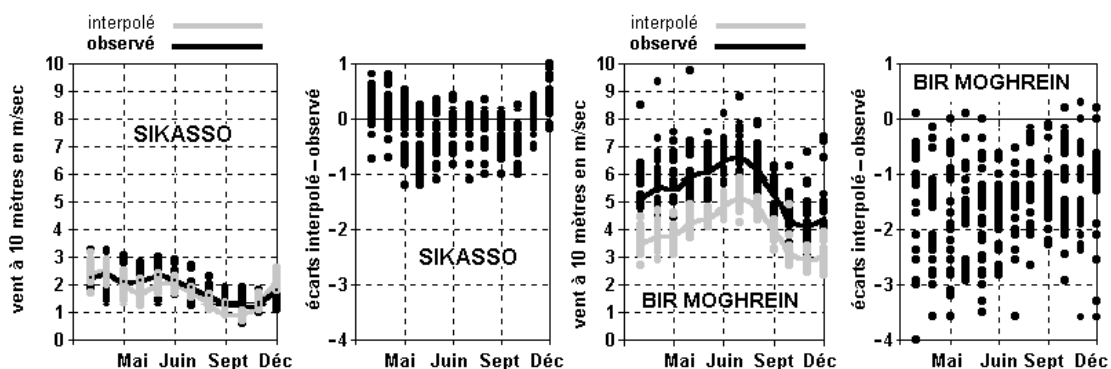
Les écarts ne sont pas égaux toute l'année, ils varient suivant les mois comme le montre la répartition mensuelle des humidités relatives (fig. 3)

Fig. 3 : écarts mensuels entre interpolations et humidités observées



Les vents montrent un plus grand bruit de fond (fig. 4).

Fig. 4 : écarts mensuels entre interpolations et vents observés



2.3. au pas de temps journalier.

Les distributions des valeurs dans l'année ont, pour les observations, un plus grand coefficient de variation (par exemple avec le vent 53% en observé contre 38% en interpolé. Ce qui montre l'effet de lissage des interpolations.

3. Cas des pluies.

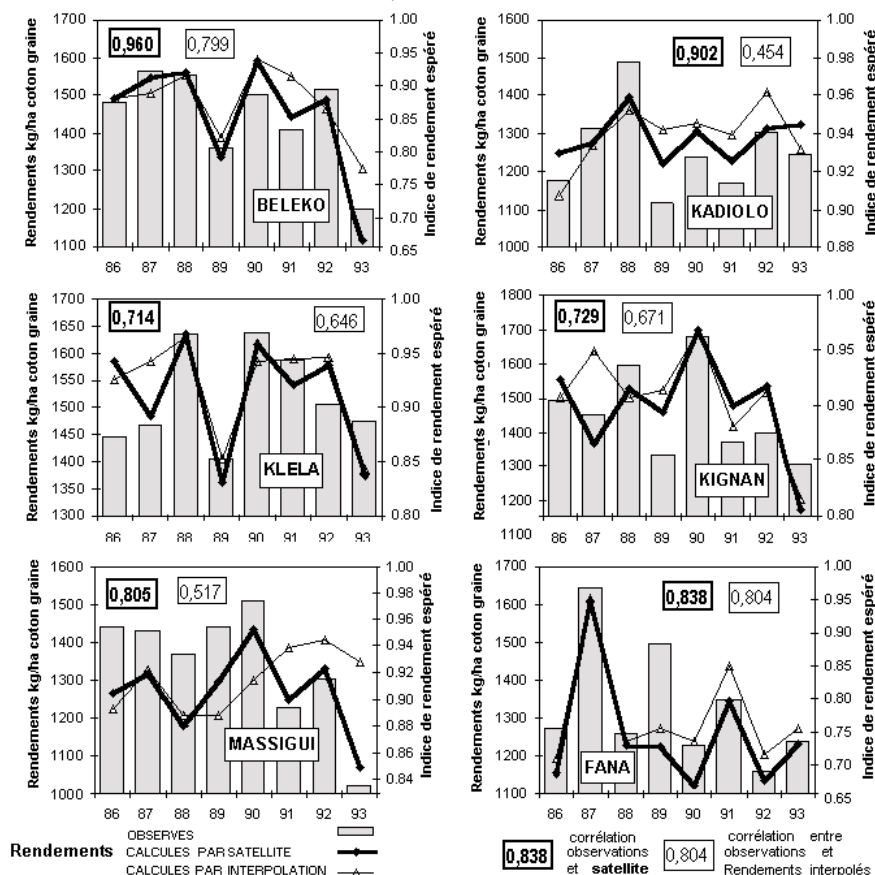
L'effet de l'agrégation des pluies a été bien étudié (Baron 2003). Il provoque une diminution de la variabilité et de la fréquence des périodes sèches calculées. Or la présence d'événements secs, est un critère majeur d'explication de la variation des rendements. L'efficacité des pluies est exagérée pour la fraction d'eau, dans le sol, disponible pour la plante avec la réduction théorique du ruissellement et du drainage. L'absence ou la forte réduction des périodes de faible disponibilité en eau ne restreint plus l'élaboration des assimilés et implique une surestimation du rendement et de la biomasse (jusqu'à 50%). On doit rechercher des méthodes de désagrégation des pluies.

4. Applications aux bilans hydriques

L'estimation des paramètres donne des ordres de grandeurs satisfaisants mais la validité régionale est-elle bonne ? Une méthode d'appréciation est la comparaison des rendements observés avec ceux calculés à partir des données estimées. Par exemple nous avons calculé les bilans hydriques du cotonnier pour la zone CMDT du Mali car les données de rendement sont bien individualisées et permettent une bonne appréciation de la valeur des indices de sortie. Il s'agit d'apprécier la corrélation entre rendements et bilan hydrique calculé avec des ETP résultants de diverses estimations.

L'indice de satisfaction en eau est l'évapotranspiration relative. C'est le rapport, compris entre 0 et 1, entre l'ETR et l'ETM. L'indice de rendement espéré (IRESP) est initialisé à 1 et il se dégrade éventuellement dans le déroulement du bilan hydrique en fonction des agressions climatiques notamment des déficits ou des excès en eau. Les écarts observés indiquent que les fluctuations interannuelles de l'ETP doivent être prises en compte quand on fait le suivi de la campagne agricole. On compare les bilans calculés à partir d'ETP interpolées à ceux employant des données satellitaires (résolution 5 km). Les corrélations pour l'ensemble des 168 rendements disponibles montrent l'avantage à utiliser le satellite puisqu'on passe en moyenne d'un coefficient de corrélation de 0,65 à 0,83. Quelques résultats sont présentés sur la figure 5. Les coefficients de corrélation figurent dans des cadres à l'intérieur de chaque graphique. Les caractères gras correspondent à la corrélation entre le rendement de coton graine à l'hectare et les indices de rendements espérés calculés par bilans hydriques pratiqués avec les valeurs d'ETP calculées par les températures de brillance maximale (Morel, 1996). Les autres indices de corrélation résultent de bilans hydriques avec des ETP interpolées à partir des grilles bâties sur les relevés météorologiques existants pour les années concernées.

Fig. 5 : Améliorations des bilans hydriques par l'emploi du satellite



Conclusion

L'évaluation des paramètres pour une zone qui est dépourvue de mesures est satisfaisante mais il y a un impact sur la sensibilité des modèles agronomiques. Non seulement par l'estimation des pluies mais aussi à celle des paramètres de l'ETP. On doit toujours vérifier si les résultats sont conformes aux productions locales.

Références bibliographiques

- BARON C. 2003 Echelles d'impact du climat . FormAtelier 2003 CIRAD Montpellier 14 p.
- MERLIER C., 2001. Rapport sur l'Interpolation des données spatiales en climatologie et conception optimale des réseaux climatologiques Toulouse 19 p.
- MOREL R., D. DAGORNE et PENNARUN J., 1996. Champs thermiques et évapotranspiration. Une méthode d'estimation régionale en temps réel. : Veille Climatologique Satellitaire, n° 56-57 Lannion, février - juin 1996, pp. 76-90.

RELATIONS ENTRE PRÉCIPITATIONS ET GÉOPOTENTIELS 500HPA DANS LE BASSIN MÉDITERRANÉEN (1951-2000) :

ETUDE COMPARÉE DES RÉSULTATS DE DEUX TECHNIQUES

C. Norrant et A. Douguédroit

Institut de Géographie, UMR 6012 ESPACE, Université de Provence
e-mail : caroline.norrant@up.univ-aix.fr

Résumé : Nous examinons deux techniques statistiques permettant de régionaliser simultanément deux types de variables, l'Analyse en Composantes Principales avec Rotation (ACPR) et l'Analyse Canonique des Corrélations avec Rotation (ACCR) pour analyser conjointement le niveau du géopotential 500hPa et les précipitations méditerranéennes.

Mots-clés : précipitations mensuelles; géopotentiels 500hPa; analyse en composantes principales avec rotation; analyse canonique des corrélations avec rotation.

Abstract: Two statistical methods of simultaneous regionalization of two sets of variables are examined: the Rotated Principal Component Analysis (RPCA) vs the Rotated Canonical Correlation Analysis (RCCA) in order to study in the same time the 500hPa geopotential height and the Mediterranean precipitation.

Key-words: monthly precipitation; 500hPa geopotential height; rotated principal components analysis; rotated canonical correlation analysis.

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 méditerranéennes et les géopotentiels 500hPa pendant les mois de janvier de 1951 à 2000. Jusqu'à présent, l'Analyse Canonique des Corrélations sans rotation a été utilisée dans ce genre d'étude (Xoplaki et al., 2000, Dünkeloh et Jacobeit, 2003) ou encore deux Analyses en Composantes principales avec Rotation dont les résultats sont corrélés (Norrant et Douguédroit, 2003). Nous avons comparé les résultats de deux méthodes permettant de détecter les structures régionales des relations existant entre deux types de variables : l'Analyse en Composantes Principales avec Rotation (ACPR) et l'Analyse Canonique des Corrélations avec Rotation (ACCR) afin de déterminer laquelle de ces deux techniques est la plus efficace pour notre étude. Nous donnerons en exemple le seul premier facteur après rotation.

1. Données et méthodes

1.1 Données

Nous avons utilisé les totaux mensuels de pluie de 63 stations réparties dans le Bassin méditerranéen et la côte atlantique à même latitude. Elles nous ont été fournies par le CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center, Etats-Unis), l'ECA&D (European Climate Assessment and Dataset, Pays-Bas), Météo France (France), Instituto Nacional de Meteorologia (Espagne) et diverses communications personnelles.

Les niveaux des géopotentiels 500hPa mensuels moyens ont été utilisés à 138 points de grille sur une fenêtre d'étude allant de 20°N à 70°N en latitude et de 60°W à 60°E en longitude avec une maille en losange de 5°x5° (Barnston et Livezey, 1987); grâce à cette maille on ne perd rien du champ de pressions mais cela permet, en limitant le nombre de points de grille en entrée, de réduire la taille des fichiers et les temps de calcul. Ces données proviennent des réanalyses du NCEP/NCAR (Etats-Unis).

1.2 Méthodes

Toutes les séries de pluies ont été testées une à une pour vérifier leur homogénéité par le test non paramétrique sur les rangs de Mann-Kendall (Sneyers, 1990). Les séries utilisées dans cette étude sont donc considérées comme homogènes, les autres ayant été éliminées.

Afin de mettre en relation précipitations et niveaux du géopotentiel 500hPa les techniques d'analyses en composantes principales et des corrélations canoniques ont été utilisées, toutes deux après rotation. Elles sont toutes deux décrites par Von Storch et Zwiers (1999).

1.2.1. L'Analyse en Composantes Principales avec Rotation

L'Analyse en Composantes Principales, dans laquelle nous entrons les stations en variables et le temps en observations, est une méthode de décomposition d'une matrice de corrélation ou de covariance. Elle sert à synthétiser les données, permettant de réduire le nombre de variables tout en minimisant la perte d'information. Les variables initiales possédant une évolution spatio-temporelle commune sont regroupées. Les différents groupes (axes factoriels) sont indépendants entre eux; chacun est identifié par un mode d'organisation spatiale obtenu par cartographie des saturations et une série chronologique (scores) permettant d'étudier son évolution dans le temps.

Afin de concentrer au maximum la variance de chaque variable sur un seul axe factoriel et de faciliter l'interprétation des résultats, on applique à l'analyse une rotation de type Varimax, qui a pour particularité de conserver l'orthogonalité des axes factoriels (Richman, 1986).

Dans notre cas particulier, nous pouvons appliquer une ACPR à deux types distincts de données sans les retrouver séparés sur les deux premiers axes factoriels parce que nous procédons avant l'analyse à une standardisation qui gomme l'effet de taille et ne laisse à analyser que la variabilité sans dimension.

1.2.2 L'Analyse des Corrélations Canoniques avec Rotation

Cette méthode a été développée à l'origine à partir d'un modèle d'interdépendance (Hotelling, 1936). Des paires de configurations spatiales (racines) sont dérivées de 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.

Comme pour l'ACP, une rotation de type Varimax appliquée à l'ACC permet de mieux répartir la variance sur les différentes racines canoniques (Cliff et Krus, 1976).

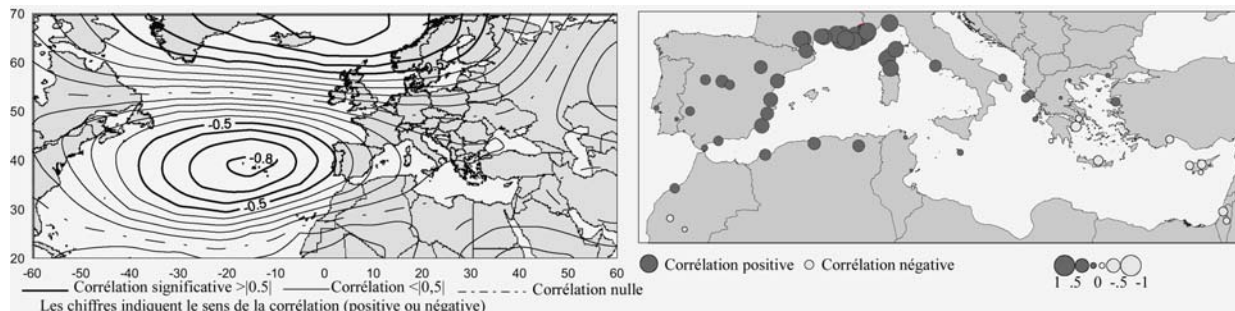
Avant de procéder à une Analyse des Corrélations Canoniques, il faut simplifier les deux jeux de variables en appliquant à chacun une Analyse en Composantes Principales (sans rotation). Nous avons retenu 10 facteurs pour les géopotentiels 500hPa (92% de variance expliquée) et 10 facteurs pour les précipitations (74,3%), sachant que pour chaque variable nous ne pourrions pas expliquer plus que la variance retenue dans cette analyse préalable.

2. Résultats

2.1. L'Analyse en Composantes Principales avec Rotation

Nous avons calculé l'ACPR sur toutes les variables en même temps et retenu 9 facteurs, soit 73,2% de la variance expliquée totale: 89% pour le niveau du géopotentiel 500hPa et 49% pour les pluies. Le premier facteur (plus forte variance) explique 15,6% de la variance totale (22,1% des géopotentiels 500hPa et 23,5% des pluies, fig. 1).

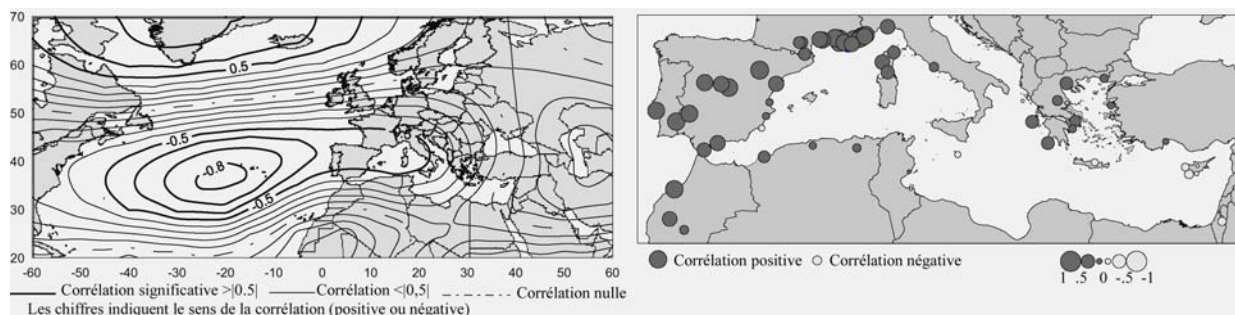
Fig.1: Premier facteur de l'ACPR. A gauche: champ de corrélations des géopotentiels 500hPa. A droite: corrélations des stations de pluie au facteur.



2.2. L'Analyse des Corrélations Canoniques avec Rotation

A partir des 10 facteurs de géopotentiels 500hPa et des 10 facteurs de pluies retenus en variables d'entrée de l'ACCR, nous avons retenu 6 racines canoniques expliquant 63,1% de la variance des géopotentiels 500hPa et 55,5% de la variance des pluies. La première racine maximisant la variance des deux types de variables explique 15,4% des géopotentiels 500hPa et 25,7% des pluies (Fig.2). Les séries temporelles des deux variables ont un coefficient de corrélation de 0,43 à l'intérieur de la paire canonique.

Fig.2 : Première racine de l'ACCR. A gauche: champ de corrélations des géopotentiels 500hPa. A droite: corrélations des stations de pluie à la racine. Corrélation de la paire canonique: 0,43



3. Comparaison et discussion

Avec seulement 6 racines l'ACCR explique plus de variance des précipitations que l'ACPR avec 9 facteurs (55,5% contre 46,1% respectivement). Ce sont les mêmes stations qui sont le mieux expliquées dans les deux cas. Les configurations du niveau du géopotentiel 500hPa qui apparaissent dans les 6 racines canoniques sont identiques à 6 des 9 facteurs de l'ACPR, mais ne correspondent pas toujours à ceux ayant le plus de variance expliquée.

On retrouve toujours en première place avec la plus forte variance le bipôle NAO, associé aux pluies du bassin occidental dans les deux méthodes, quoique dans l'ACCR les corrélations avec les stations atlantiques sont plus fortes que dans l'ACPR. De même sur la première racine de l'ACCR les précipitations en Grèce sont mieux corrélées avec le bipôle NAO que sur le premier facteur de l'ACPR (Fig.1 et 2).

Un autre avantage de l'ACCR est qu'elle donne pour chaque racine une série temporelle distincte associée à chacun des champs de variables, soit deux séries temporelles par racine. Dans l'ACPR la même série temporelle est associée aux deux champs de variables sur le même facteur.

Conclusion

Pour traiter simultanément deux types de variables comme précipitations et géopotentiels 500hPa, l'ACCR présente plus d'avantages que l'ACPR : elle équilibre les deux champs de variables, permettant principalement dans notre cas d'expliquer, avec moins de racines que de facteurs, plus de variance des précipitations.

Références bibliographiques

- BARNSTON AG, LIVEZEY RE, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Month. Weath. Rev.* 115: 1083-1126
- CLIFF N, KRUS DJ, 1976: Interpretation of canonical analysis: rotated vs unrotated solutions. *Psychometrika.* 41: 35-43
- DÜNKELOH A, JACOBET J, 2003: Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948-98. *Int. J. Climatol.* 23: 1843-1866
- HOTELLING H, 1936: Relations between two sets of variates. *Biometrika.* 28: 321-377
- IPCC Climate Change ,2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, Van der Linden PJ, Xiaosu D (eds) Cambridge University Press, UK
- NORRANT C, DOUGUÉDROIT A, 2003: Tendances récentes des précipitations et des pressions de surface dans le Bassin méditerranéen. *Ann. Géo.* 631: 298-305
- RICHMAN MB, 1986: Rotation of principal component. *J. Climatol.* 6: 293-335
- SNEYERS R, 1990: On the statistical analysis of series of observation. WMO, Technical Note n° 143, Geneve
- VON STORCH H, ZWIERS FW, 1999: Statistical analysis in climate research. Cambridge University Press: Cambridge
- XOPLAKI E, LUTERBACHER J, BURKARD R, PATRIKAS I, MAHERAS P, 2000: Connection between the large-scale 500hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime. *Clim. Res.* 14: 129-146

LA SAISON DES PLUIES D'OCTOBRE-DÉCEMBRE EN AFRIQUE DE L'EST : PRÉVISIBILITÉ À L'ÉCHELLE DU MOIS ET DU POINT DE GRILLE (1968-1998)

N. Philippon et P. Camberlin

Centre de Recherches de Climatologie (CRC), Dijon
e-mail : nathalie.philippon@u-bourgogne.fr

Résumé : Le travail explore l'utilité de prédicteurs des précipitations est-africaines identifiés à l'échelle saisonnière et régionale, pour réaliser une prévision à des échelles spatiales et temporelles plus fines. Les problèmes liés à l'individualisation de prédicteurs additionnels sont discutés.

Mots clés : Afrique de l'Est, short rains, prévision statistique, désagrégation.

Abstract: This work explores the ability of east african rainfall predictors isolated at seasonal and regional scales to derive predictions at smaller space and time scales. Problems related to the identification of additional predictors are discussed.

Key-words: East Africa, short rains, statistical predictability, downscaling.

Introduction

Depuis 6 à 7 ans, des prévisions opérationnelles des cumuls saisonniers de précipitations sont réalisées pour l'Afrique de l'Est (Washington et Downing, 1999). En améliorer la pertinence suppose notamment de pouvoir descendre à des échelles spatiales et temporelles plus fines. Ce travail explore quelques aspects.

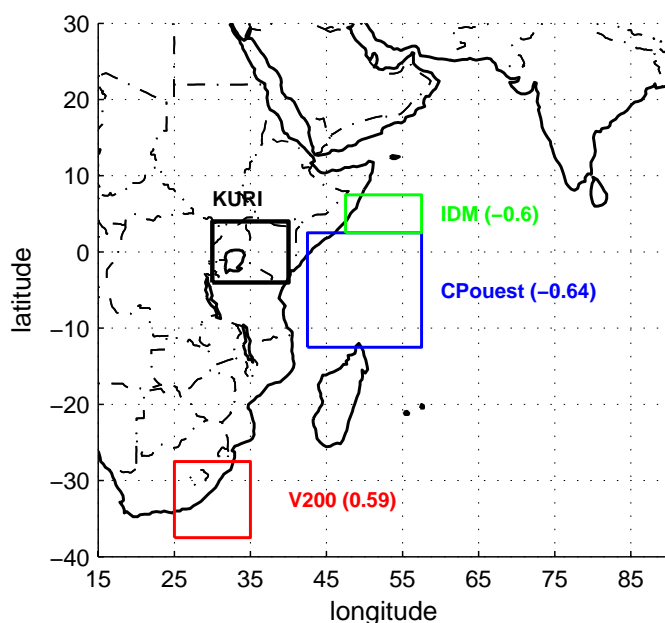


Fig. 1 : Localisation de l'indice pluviométrique saisonnier KURI (le prédictant) et des 3 indices océano-atmosphériques de septembre utilisés comme prédicteurs. Entre parenthèses : corrélations partielles entre le prédictant et chaque prédicteur, indépendamment des 2 autres.

La région est africaine considérée s'étend entre 10°S-6°N et 30-42°E. Elle connaît deux saisons des pluies : les long rains de mars à mai et les short rains d'octobre à décembre, saison caractérisée par une forte cohérence spatiale et inter-mensuelle des anomalies de précipitations (Ogallo, 1989 ; Beltrando, 1990). Les données pluviométriques, au pas mensuel, sont extraites du fichier du CRC. Sur la période 1968-1998, les données d'octobre, novembre, décembre de 76 stations ont été utilisées, puis passées sur une grille de 1° x 1° de résolution.

1. Acquis à l'échelle régionale et saisonnière

La prévisibilité des short rains a été étudiée à l'échelle saisonnière et régionale par Philippon (2002) et Philippon et al (2002). Elle se base sur l'indice pluviométrique « KURI » (fig.1) défini comme la moyenne spatiale, sur la région 4°N-4°S/30-39°E, des anomalies réduites du cumul pluviométrique octobre-décembre. Trois signaux prédictifs de la variabilité de KURI ont été dégagés dans la dynamique océano-atmosphérique régionale du mois de septembre, et synthétisés sous forme d'indices (fig.1) :

- 1 - la branche ouest de la circulation cellulaire zonale du bassin équatorial indien (CPOuest) : une anomalie de subsidence y est défavorable aux précipitations.
- 2 - la dynamique de mousson indienne (IDM) : une circulation de mousson anormalement intense accentue le refroidissement du nord-ouest de l'océan Indien ; ceci est défavorable au développement de mouvements ascendants sur la région est africaine.
- 3 - les systèmes d'ondes de haute troposphère des moyennes latitudes australes (V200) : une crête induit un ralentissement des alizés sur l'Atlantique sud et un réchauffement de ce dernier ; la confluence des vents sur l'océan Indien tropical ouest est alors renforcée.

Ces signaux ont été entrés dans un modèle de régression linéaire multiple dont la performance est testée à l'aide du score de corrélation, calculé sur des estimations obtenues par validation croisée. Ce score atteint 0.81 ; ces 3 indices permettent donc de reproduire 64% de la variance des short rains à l'échelle régionale et saisonnière.

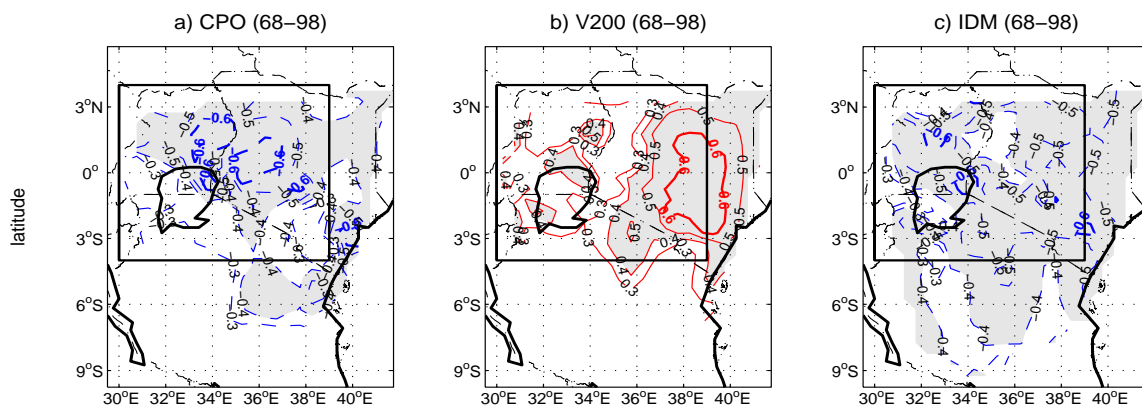
2. Prévisibilité à l'échelle mensuelle et du point de grille :

La prévisibilité à l'échelle mensuelle et du point de grille a été abordée en partant des résultats saisonniers et régionaux. Les 3 prédicteurs de KURI ont été repris et corrélés un à un au champ pluviométrique saisonnier. Puis ils ont été intégrés dans des régressions multiples afin d'estimer la prévisibilité des champs mensuels.

2.1 Le champ pluviométrique saisonnier

Les corrélations partielles entre chacun des prédicteurs et le champ pluviométrique saisonnier sont calculées (fig. 2). Elles indiquent que les prédicteurs dégagés pour l'échelle régionale sont également pertinents à échelle plus fine : en certains points de grille, ils expliquent individuellement plus de 25% de la variance. D'autre part, les structures spatiales de corrélation avec les trois prédicteurs sont nettement différenciées, ce qui souligne leur bonne complémentarité : les anomalies engendrées par la dynamique de mousson indienne (fig.2c) montrent une structure spatiale cohérente sur l'ensemble de l'Afrique de l'Est ; l'indice V200 (fig.2b) qui est associé à une modification des vents d'Est au-dessus de l'Indien tropical Ouest, montre logiquement de plus fortes corrélations avec les points de grille présentant une exposition à ces vents.

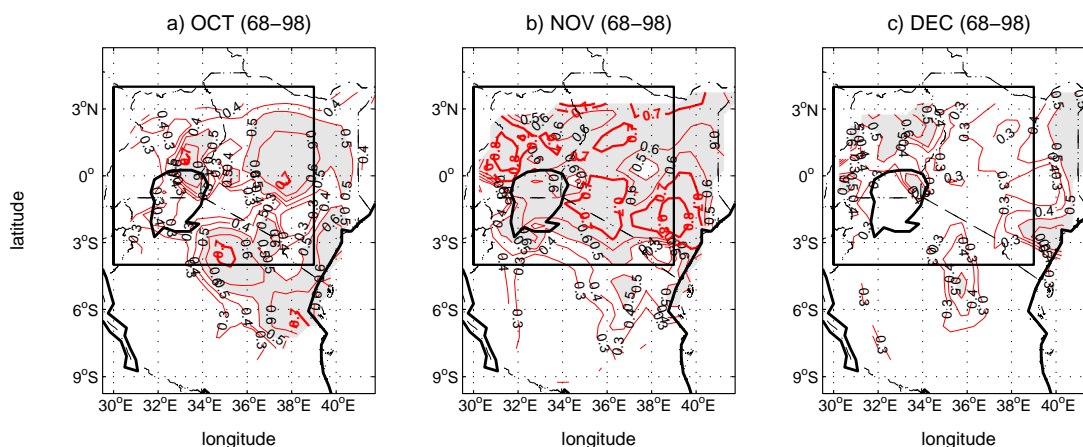
Fig. 2 : corrélations partielles entre le champ de précipitations d'octobre-décembre et chacun des 3 prédicteurs de KURI a) CPO, b) V200 et c) IDM, sur la période 1968-1998. En grisé (en grisé et isolignes en gras), points de grille dont plus de 16% (36%) de la variance est expliquée. Le rectangle noir donne les limites de l'indice KURI



2.2 Les champs pluviométriques mensuels :

La pertinence des prédicteurs de KURI à l'échelle du point de grille et de la saison permet d'envisager leur intégration dans des modèles de régression linéaire multiple pour estimer la prévisibilité du champ pluviométrique de chacun des 3 mois. Les scores de corrélation en validation croisée sont présentés en figure 3. La principale constatation concerne la variation intra-saisonnière marquée de la prévisibilité du champ de précipitations. C'est en novembre (fig.3b), cœur de la saison des pluies, que la prévisibilité est la plus élevée et la plus cohérente spatialement. Une majorité de points de grille du nord de la région voient plus de 50% de leur variabilité prévue à l'aide des 3 prédicteurs de septembre, soit avec un temps d'avance d'un mois. Alors que le temps d'avance est nul, le champ pluviométrique d'octobre (fig.3a) est moins bien prévu. Ceci est dû au fait que (i) le démarrage de la saison des pluies est associé à une variabilité spatio-temporelle beaucoup moins cohérente, (ii) les prédicteurs utilisés ne sont qu'indirectement liés aux précipitations. Enfin, le champ de décembre (fig.3c) ne peut pas être prévu à l'aide des 3 prédicteurs mis à jour pour l'indice saisonnier régional.

Fig. 3 : scores de corrélation entre le champ de précipitations observé et estimé (en validation croisée) à partir des 3 prédicteurs de septembre de l'indice KURI (fig.1) pour les mois a) d'octobre, b) novembre et c) décembre, sur la période 1968-1998. En grisé (en grisé et isolignes en gras), points de grille dont plus de 25% (50%) de la variance est expliquée. Le rectangle noir donne les limites de l'indice KURI



3. Recherche de nouveaux prédicteurs

Exception faite du mois de novembre au nord, les prédicteurs dégagés pour l'indice saisonnier et régional sont insuffisants pour prévoir la variabilité du champ pluviométrique au pas mensuel sur toute la région. Il est donc nécessaire de trouver des signaux prédictifs additionnels pour expliquer cette variabilité d'échelle fine. Toutefois, la descente dans les échelles soulève plusieurs questions discutées ci-après.

En ce qui concerne les prédictants, la persistance inter-mensuelle des structures d'anomalies de précipitations étant faible aux échelles fines, chaque mois de la saison des pluies est analysé séparément. Le signal régional et saisonnier, bien expliqué, est enlevé de chaque champ mensuel ; les résidus obtenus sont soumis à une Analyse en Composantes Principales avec rotation Varimax afin de détecter des structures spatiales de co-variabilité d'échelle sous-régionale.

Pour un pas de temps t_n et une échelle spatiale e_n , on peut considérer que la variabilité du champ de précipitations P est fonction (i) d'un forçage régional Fr , (ii) d'un forçage local Fl et (iii) d'une composante aléatoire a , soit : $P(t_n, e_n) = Fr + Fl + a$.

Fr et Fl sont considérés comme les composantes explicables de la variabilité et constituent le signal ; a est non explicable et constitue le bruit. Pour certains points de grille et certains mois, les 3 signaux CPO, V200 et IDM, qui représentent le forçage régional Fr, expliquent déjà 50% de la variance observée. Deux questions principales se posent donc quant à la variabilité résiduelle :

1 - Est-elle explicable ? Ceci suppose que le rapport $(Fr + Fl)/a$ soit grand.

2 - Est-elle prévisible ? Ceci suppose qu'elle soit associée à des anomalies climatiques persistantes, notamment celles liées aux états de surface (océaniques et continentaux).

La prévisibilité du champ résiduel de précipitations d'octobre à partir des TSM de septembre est explorée en utilisant l'Analyse Canonique des Corrélations. Les résultats indiquent une faible prévisibilité de la variance résiduelle des précipitations à partir de ce forçage extra-régional. La recherche de signaux explicatifs doit donc se tourner vers les champs synchrones de dynamique atmosphérique. Seules certaines CP présentent des relations significatives, et le potentiel prédictif reste limité, ce qui est logique compte-tenu de la faible persistance des anomalies dans l'atmosphère.

Conclusion

Au-delà de leur relative homogénéité spatio-temporelle, les short rains est-africaines possèdent une prévisibilité différenciée à l'échelle sous-régionale et mensuelle. Les prédicteurs définis antérieurement à l'échelle saisonnière et régionale se révèlent complémentaires et efficaces dans la désagrégation, mais la recherche de prédicteurs additionnels se heurte au manque de persistance de certains signaux.

Références bibliographiques

Beltrando G. (1990) Space-time variability of rainfall in April and October-November over East Africa during the period 1932-83. *Int. J. Climato.* : 10, 691-702.

Ogallo L.J. (1989) The spatial and temporal patterns of the East African seasonal rainfall derived from principal component analysis. *Int. J. Climato.* : 9, 145-167.

Philippon N., Camberlin P. et Fauchereau N. (2002) Empirical predictability study of October-December East African rainfall. *Quart. J. Royal Met. Soc.* : 128, 2239-2256.

Philippon N. (2002) Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : méthodes, diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001), thèse de doctorat, Dijon, 241p.

Washington R., Downing T.E. (1999) Seasonal forecasting of African rainfall: prospects and problems. *Geographical Journal* : 165, 255-274

**PERCEPTION DU TEMPS ET DU CLIMAT EN COTENTIN
AU MILIEU DU XVI^e SIÈCLE
(EXPLOITATION DU « JOURNAL » DE GILLES DE GOUBERVILLE)**

M. Roupsard

CRESO – OUEN, UFR de Géographie, Université de Caen Basse-Normandie
e-mail : roupsard@geo.unicaen.fr

Introduction

Découvert en deux fois (1867 et 1886), publié en 1894-95 et réédité en 1993-94, le « Journal du Sire de Gouberville »¹ fournit de très nombreuses informations sur la vie rurale dans le Cotentin du milieu du XVI^e siècle. Son auteur, Gilles Picot de Gouberville (1521-1578), seigneur du Mesnil-au-Val (à huit kilomètres au sud-est de Cherbourg) rédigeait au jour le jour un livre de raison (de comptes) dont une partie seulement nous est parvenue, soit quatorze années (du 25 mars 1549 au 24 mars 1563)². En fait, Gouberville consignait par écrit, en plus de ses recettes et dépenses, les travaux agricoles sur son domaine, les déplacements, les événements importants et tout ce qui lui paraissait digne d'être noté ; il le faisait de façon très régulière puisque, sur 5113 jours, il n'en manque que 31, presque tous de juin à août 1550, pendant un voyage à Rouen.

1. Un intérêt certain pour le temps

Le « Journal » de Gilles de Gouberville n'a rien d'une œuvre littéraire ; c'est une suite d'observations brutes de faits quotidiens, sans descriptions ni points de vue personnels. Les phrases sont sobrement construites, avec des successions sujet-verbe-compléments, parfois qualifiées par des adverbes, rarement par des adjectifs. Dans cette vision très sèche du quotidien, le texte ne s'anime et ne se colore que pour deux types d'informations : pour montrer les animaux élevés sur le domaine et, ce qui nous intéresse ici, pour rendre compte du temps qu'il fait. Deux exemples suffiront pour illustrer cette qualité particulière de rédaction sur les observations météorologiques :

« Sur la relevée (l'après-midi), vint une gelée si soudaine et si âpre qu'on voyait geler l'eau et blanchir la terre » (18 décembre 1556).

« Il fist fort beau temps, doux et clayr comme cristal » (1^{er} mars 1563).

Pendant les quatorze années du « Journal », les notations sur le temps sont relativement nombreuses : un peu plus de 800 (808 recensées, sous réserve de quelques oublis possibles), soit en moyenne 58 par an, concernant donc à peu près un jour sur six (15,8%). En réalité, cette proportion évolue au fil du temps, puisqu'elle passe d'une notation pour environ quinze jours les premières années (de 4 à 9% entre 1549 et 1552) à une pour quatre jours à la fin, en 1562. La seule explication plausible à cette évolution est dans l'intérêt croissant pour le temps de la part de Gouberville, au fur et à mesure qu'il vieillit (il a 28 ans en 1549, 42 ans en 1563).

¹ GOUBERVILLE, Gilles PICOT (de), *Le Journal du Sire de Gouberville*, 4 vol. Bricqueboscq, Ed. des Champs, 1993-1994 (2^{ème} édition).

² Jusqu'en 1564, l'année commence le 25 mars dans le diocèse de Coutances. Dans le texte ci-dessus, pour des raisons de commodité, les dates comprises entre le 1^{er} janvier et le 24 mars sont affectées du millésime correspondant au calendrier actuel et non à celui du « Journal » qui est celui de l'année précédente. D'autre part, le calendrier julien est encore en usage jusqu'en 1582 ; pour toute comparaison avec la période actuelle, les dates mentionnées ici doivent être augmentées de 10 jours (le 1^{er} janvier 1550 correspond au 11 janvier dans le calendrier grégorien).

Les observations ont été faites pour l'essentiel (un peu plus de 90%) dans le Cotentin, presque uniquement au Mesnil-au-Val ou dans les environs immédiats (86%) ; il faut remarquer cependant qu'entre septembre 1560 et septembre 1562, une soixantaine de notations (8%) concernent le Bessin où Gouberville a séjourné la moitié du temps durant cette période, à environ 70 kilomètres de sa résidence habituelle.

L'ensemble des notations météorologiques peut se répartir en deux grandes catégories selon qu'elles sont rattachées ou non au contexte de la vie quotidienne. La première, qui représente près de trois quarts du total, correspond à de simples observations sans aucun lien avec les informations voisines fournies par le « Journal ». Pour la seconde catégorie (nettement minoritaire), les remarques sur le temps sont associées aux activités de l'auteur ou de son entourage : des déplacements (*arriva monsr de Sct-Naser, qui n'avoit pas les dens seiches tant estoit moullé - 3/10/1558*), les travaux agricoles (*je m'en allé aulx prays à Tourlaville... la pluye nous en chassa - 6/8/1552*) ou autres occupations comme la chasse (*Symonnet, Gilles Auvray et Thomas Drouet furent à la chasse ...la pluye les ramena viron midy - 18/10/1554*). Pour cette seconde catégorie, le nombre de notations reste stable, entre 10 et 20 par an, alors que pour la première, il augmente régulièrement au fil des années, ce qui va dans le sens d'une attention croissante de l'auteur pour le temps qu'il fait.

2. Beau ou mauvais : le temps « subjectif »

La façon la plus simple, la plus habituelle (et la plus subjective) d'apprécier le temps est de le qualifier positivement : « beau », ou négativement : « mauvais ». Gouberville utilise 266 fois cette formule (un tiers du total des notations). Ce qui peut sembler étrange c'est la répartition entre d'une part le « mauvais temps » ou « fort mauvais temps » (56 fois, plus 2 rude temps et 1 temps fâcheux) et d'autre part l'« assez beau temps », le « beau temps » et le « fort beau temps » (207 fois).

Les observations de « mauvais temps » sont logiquement notées en automne et en hiver, c'est-à-dire à la « mauvaise saison » ; elles sont presque toutes situées entre septembre et mars. Elles sont aussi très souvent associées à la pluie qui représente habituellement une gêne pour les travaux et pour les déplacements.

Pour le « beau temps », la répartition saisonnière apparaît paradoxale puisqu'elle correspond à peu près à la même période (d'août à mars), d'autant plus que l'expression « fort beau temps » l'emporte largement (trois quarts des cas). En fait, en rédigeant son « Journal », Gouberville privilégie ce qui lui paraît remarquable, donc « notable », aux dépens des événements ou phénomènes normaux et habituels ; ceci explique qu'il mentionne les jours où il fait beau en hiver et qu'il n'y prête guère attention en été. Il est logique également que ces notations se multiplient dans le texte des dernières années, alors que l'auteur se montre de plus en plus attentif au temps ; cependant d'après les notations météorologiques plus « objectives », il apparaît aussi que les derniers hivers, ceux de 1557-58 à 1562-63, ont été relativement doux.

3. Relevés de faits météorologiques : vers l'« objectivité » ?

Dans le « Journal », près des trois quarts des notations sur le temps correspondent à des faits météorologiques perceptibles et que l'on qualifierait aujourd'hui de mesurables : la pluie, la neige, le vent, le chaud, le froid,.... Cependant, il ne s'agit pas, loin de là, de relevés exhaustifs. L'exploitation de ces données doit tenir compte des motivations et de l'état d'esprit de l'observateur ; elle apporte sans doute plus d'informations sur la perception du temps et du climat que sur leur réalité.

- Le Cotentin : pays pluvieux

Divers commentateurs du texte de Gouberville, insistent sur le fait qu'il dégage l'impression d'un climat cotentinois très humide ; ils soulignent la fréquence (110 fois au total) de la phrase : « *tout le jour, ne cessa de plouvoyr* ». Il est vrai que les précipitations sont mentionnées, directement ou par déduction (« mauvais temps », voyageurs mouillés, inondations,...), à près de 500 reprises, soit plus de 60% des notations (pour la pluie : 410 fois, la grêle : 15, la neige : 70). Pourtant, ce chiffre doit être

relativisé ; réparti entre les 14 années du « Journal », il ne donne qu'une moyenne de 35, dans une région qui compte environ 200 jours de précipitations par an. Les phénomènes ne sont donc pas tous comptabilisés, loin s'en faut ; ils ne sont présentés que s'ils ont attiré l'attention du rédacteur, pour des raisons très diverses et variables dans le temps. La répartition des observations est conforme aux données climatiques d'une région océanique, mais le mois d'août se distingue par un pic qui s'explique seulement par une plus grande sensibilité au temps pendant la période des moissons. L'intensité et la durée des précipitations sont assez souvent remarquées en utilisant des adjectifs et surtout des adverbes évocateurs (la pluie est petite, forte, grosse, véhémence ; il pleut un peu, beaucoup, fort, grandement, démesurément, incessamment, impétueusement, merveilleusement, horriblement, désespérément, sans rémission,...).

Malgré la fréquence relative des mentions sur les précipitations, il n'est possible de montrer ni une similitude ni des différences sensibles entre la pluviométrie perçue par Gouberville dans le Cotentin du XVI^e siècle et ce qu'elle est actuellement. Des variations inter-annuelles sont néanmoins perceptibles, avec une humidité plus forte en 1555, 1557, 1558 (surtout) et 1562. Une seule année est marquée par la sécheresse ; le manque de pluie entre avril et le début du mois d'août provoque des incendies de forêt et une mauvaise récolte (le prix des blés est plus que doublé).

- Le Cotentin : pays venteux

Entouré par la mer de trois côtés, le Cotentin est réputé pour la fréquence du vent. Ceci n'apparaît guère dans le texte gouberville. Seulement 62 mentions (4 par an en moyenne) y font référence. Les orientations sont rarement indiquées, sauf (10 fois) celle de nord-est qui correspond à un vent frais et sec, spécifique de la région, surtout au printemps, le « vent d'amont ». Le « Journal » privilégie bien sûr les vents forts et plus spécialement les tempêtes (ou « tourmentes » : 23 fois). Les plus graves font des dégâts importants aux productions agricoles (blés, fruits) les 5 septembre 1555, 19 août 1556 et 3 août 1560, ou ravagent la forêt les 4 décembre 1558, 15 septembre 1559 et également le 19 août 1556. Il est vrai qu'en dehors de ces phénomènes remarquables, l'auteur a peu de raisons particulières de s'intéresser au vent qui est un élément de sa vie quotidienne.

- Le Cotentin : pays de douceur océanique ?

C'est certainement dans le domaine des températures que Gouberville peut fournir le plus d'éléments objectifs. Bien sûr, beaucoup de notations restent très subjectives, avec l'utilisation d'adjectifs (froid, doux, chaud) qui sont loin de présenter une rigueur thermométrique. Cependant pour étalonner le froid, les mentions de gel et de neige peuvent se révéler très utiles. Si certains jours de gel peuvent être passés sous silence, ceux de « fort gel » (*la glace portoyt partout -3/1/1554*) et surtout ceux de neige (*toute la matinée, il ne cessa de néger - 25/3/1550*) sont sans doute notés très près de l'exhaustivité. Pour la moitié des 14 années, la neige et le gel sont rares, voire quasi absents. Seuls, cinq hivers peuvent être considérés comme froids ou très froids. Pour trois années, des températures très basses et des chutes de neige affectent des périodes limitées : en février 1551, en février-mars 1553, en fin décembre 1553-début janvier 1554 ; elles sont plus largement réparties dans l'hiver 1556-1557 (de fin novembre à début mars. Le froid de l'hiver 1554-1555 semble moins marqué, mais plus étalé, avec les premiers gels à la mi-novembre et la dernière chute de neige à la mi-avril. Les hivers les plus rigoureux sont donc regroupés sur la période qui va de 1551 à 1557. En contraste, les années suivantes semblent particulièrement clémentes, présentant une grande fréquence de jour de « beau temps » ou de « doux temps » en décembre, janvier ou février. Le jour de Noël 1557 « *il fist un temps fort doux et gratieux, comme s'il avoyt esté le moys d'avril* » et la même comparaison est utilisée cinq jours plus tard, le 30 décembre ; il en est de même en 1559, le 16 décembre et, encore mieux le 24, où il fait aussi beau qu'au mois de mai.

Si la douceur de la température apparaît souvent, comme il est normal pour un climat littoral, la chaleur est plus rarement mentionnée : seulement 22 fois au total ; les températures caniculaires en représentent juste la moitié (chaleur extrême, véhémence, merveilleuse), dont six pendant l'été 1556, celui de la sécheresse.

4. La mémoire du temps chez Gouberville

Dans son Journal, Gouberville ne se contente pas d'évoquer le temps qu'il fait au jour le jour, il fait aussi quelquefois un rappel sur la période qui vient de s'écouler. Il peut s'agir d'une absence de pluie telle comme celle qui précède le 22 mars 1555 (au moins un mois). Le 18 octobre 1559, la pluie arrive après six semaines de beau temps et le 2 octobre 1562, il fait beau depuis 16 jours. Au contraire, le 24 octobre 1558, on constate qu'il a plu tous les jours depuis plus d'un mois.

Gilles de Gouberville se livre aussi à des comparaisons, ce en quoi il obéit à des pratiques sociales sans doute aussi courantes à son époque qu'aujourd'hui. Nous l'avons vu mettre avril ou mai en décembre, mais il signale aussi le 31 octobre 1561 un temps plus beau qu'en été ; à l'inverse, les 22 et 23 avril 1555, le vent d'amont souffle très fort et il fait froid comme aux « *advents de Noël, ce qui mist les gens en grant admiration* ».

Le seigneur du Mesnil-au-Val va jusqu'à se lancer dans le petit jeu du « jamais vu » et il y excelle. Lors de la « tourmente » du 22 avril 1555, « *checun disoyt qu'on n'avoit jamais veu fère tel temps en ceste saison* ». Le premier janvier 1556, il fait le temps « *le plus doux qu'oncques (jamais) homme vust fère en ceste saison* » ; le 30 décembre 1561, il utilise presque les mêmes termes, mais c'est sans doute un peu moins bien puisqu'il précise « homme vivant ». Le 3 août 1555, il pleut « *le plus impétueusement que je vy oncques* » ; cependant, le record est battu le 3 avril 1562 par la pluie qui tombe « *le plus impétueusement que je vy jamays qu'il me souviene* » ; mais alors, comment classer entre temps (le 29 mai 1560) « *la plus véhémence pluye que je vy jamays* » ?

Conclusion

Le « Journal » de Gilles de Gouberville fournit pour le milieu du XVI^e siècle un tableau du climat cotentin qui ne semble pas très différent de celui de la seconde moitié du XX^e siècle, avec, sur quatorze ans, trois ou quatre hivers froids, cinq tempêtes remarquables et une sécheresse importante. Cet apport de données plus ou moins objectives représente un des intérêts de ce document exceptionnel ; il faut aussi y découvrir la perception quotidienne du temps et du climat par un observateur d'une époque déjà lointaine, mais encore proche par ses sensibilités.

ESTIMATION DES PRÉCIPITATIONS À PARTIR D'IMAGES SATELLITALES

L. Sadouki, B. Haddad et A. Adane

Laboratoire Traitement d'Images et Rayonnement,
Faculté d'Electronique et d'Informatique
Université des Sciences et de la Technologie d'Alger
E-mail : h_boualem@hotmail.com

Résumé : Ce papier porte sur l'estimation des précipitations à partir d'images satellitales. Pour cela, un modèle à régression linéaire multiple a été mis au point. Les prédicteurs utilisés sont la température du sommet du nuage, l'ennuageement horaire et la latitude de la station. Les données utilisées sont des images infra rouges Météosat 7 reçues à la station météorologique de Dar El Beida (Algérie) durant la période 2001-2003 et des données au sol. Après calcul, nous constatons que les coefficients du modèle dépendent de la période de l'année. L'analyse des résultats obtenus pour les trente six stations tests montre que l'erreur relative entre l'intensité estimée par le modèle et la quantité de pluie mesurée au sol varie entre 6 % et 30 %, dépend de la station et de la période de l'année.

Mots clés : images satellitales ; précipitations ; modèle de régression linéaire multiple ;

Abstract: This paper deals with the estimation of precipitation from satellite images. For this purpose, a model based on multiple linear regression is proposed. The used parameters are the cloud top temperature, the hourly cloud covering and the station latitude. The data used in this study are images infra red Météosat 7 recorded at the meteorological station of Dar El Beida (Algeria) during period 2001-2003 and data measured in situ through thirty six stations. After calculation, we notice that the model coefficients depend on the period of the year. The analysis of results obtained for thirty six test stations shows that relative error between intensity estimated by the model and the quantity of rain measured in situ vary between 6 % and 30 %, depends on the station and on the period of the year.

Key Words: satellite images ; précipitation ; multiple linear regression model.

1. Introduction

L'estimation des précipitations est capitale dans l'étude du climat et présente aussi un intérêt socio-économique fondamental. En effet, les précipitations ont un impact direct sur le développement de l'activité humaine, la faune et la flore que les autres phénomènes météorologiques n'ont pas. Par exemple, pour l'agriculture, les variations annuelles et saisonnières conditionnent le rendement de la production agricole. Cet impact est d'autant plus important en Algérie, où le secteur de l'agriculture peut s'avérer vital dans le développement du pays et l'autosuffisance alimentaire.

La répartition inégale des pluviomètres et des radars à travers la surface terrestre et notamment dans les régions inhabitées telles que les océans, les déserts, les zones polaires et les hautes montagnes est l'une des causes principales du déficit d'informations sur la distribution des précipitations à travers le globe. Pour cela, l'observation par satellite demeure le seul moyen capable de fournir une couverture spatiale et temporelle nécessaire à l'élaboration de modèles hydrologiques et de prévision météorologique puissants. Les systèmes d'observation à partir de l'espace sont essentiellement les systèmes géostationnaires, qui fournissent les images infrarouges (IR) ou visibles (VIS) et les systèmes à orbites basses tels que les TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) qui présentent des mesures dans les longueurs d'ondes micro ondes.

La plupart des techniques d'estimation des précipitations à partir d'images satellitales est basée sur l'observation au sol et sur le fait que les nuages convectifs à sommets froids pourraient produire plus de précipitations que les autres types de nuages. Dans ce papier, nous présentons un modèle statistique à régression multiple permettant d'estimer les précipitations à partir d'images METEOSAT 7.

2. Banque de données

Les images utilisées dans cette étude sont des images IR Météosat 7 reçues à la station de réception de Dar El Beida durant la période 2001-2003. Rappelons que Météosat 7 est opérationnel depuis 1997. La taille de l'images est de 512x512 pixels et sa résolution spatiale est de 5x5 km². La fréquence de prises d'images est d'une heure. La bande spectrale du canal infra rouge s'étend entre 10,5 et 12,5 μm. Nous avons aussi utiliser des données au sol collectées au niveau de trente six stations météorologiques réparties sur le territoire algérien durant la même période que celle de prise d'images satellitales.

3. Modélisation des précipitations et resultats

Pour estimer les précipitations à partir d'un modèle de régression multiple, nous avons utilisé des images satellitales et des données in situ. L'idée consiste à choisir un certain nombre de prédicteurs qui interviennent directement ou indirectement dans le phénomène de précipitations. Le choix de l'équation de régression a fait l'objet de plusieurs tests. En effet, les prédicteurs que nous avons choisi d'insérer dans notre modèle, ont été sélectionnés après plusieurs essais effectués sur un fichier d'apprentissage. Le fichier d'apprentissage est constituée d'images et de données au sol prises en 2001 alors que le fichier test est composé de données collectées en 2002.

La démarche adoptée pour élaborer notre modèle est la suivante : nous commençons d'abord à introduire un nombre de prédicteurs, puis nous calculons le coefficient de corrélation entre la variable expliquée (la pluie) et la variable explicative (le prédicteur introduit). Ce coefficient fera l'objet d'une comparaison avec celui que nous obtenons après introduction d'un nouveau prédicteur. Selon qu'il y' aura un amélioration ou pas du coefficient de corrélation, nous décidons de la sélection ou de l'élimination de ce dernier prédicteur. Ainsi, nous évoluons jusqu'à obtenir le meilleur coefficient de corrélation.

Dans notre cas, les seuls prédicteurs que nous pouvons extraire à partir d'images IR sont la température du sommet des nuages et le paramètre ennuagement. L'équation exprimant la régression multiple utilisée est la suivante :

$$P_j = \sum_{h=6}^{h=6} p_h \quad \text{avec} \quad P_h = A \frac{N_h}{T_h} + B \frac{N_h}{T_h} \varphi$$

où N_h désigne l'enuagement horaire, φ la latitude de la station, T_h la température du sommet du nuage, P_j le cumul de précipitations de 06h00 du jour $j-1$ à 06h00 du jour j , A et B sont les constantes de la régression

L'idée d'introduire dans notre modèle le rapport N_h / T_h réside dans le fait que l'intensité de précipitations est d'une part directement liée à la température et d'autre part inversement proportionnelle à la température. Le choix de la latitude de la station au sol comme prédicteur est dû au fait d'une amélioration très sensible du coefficient de corrélation entre l'intensité mesurée et l'intensité estimée. La fichier de données d'apprentissage comporte une série d'images prises durant une période pluvieuse et des données au sol collectées au cours de cette période.

Le fichier test est constitué de données prises au cours des périodes s'étalant entre septembre 2002 à janvier 2003. Les valeurs des coefficients A et B obtenues sont

Pour les mois septembre et octobre : $A = 0,36$ et $B = 0,026$

Pour les mois de décembre 2002 et janvier 2003 : $A = 0,46$ et $B = 0,076$

Nous remarquons que les valeurs prises par les coefficients A et B pour les deux périodes sont différentes. Ceci peut s'expliquer par le fait que les pluies de la période décembre 2002 et janvier 2003 (saison hivernale) ont un caractère stratiforme alors que les pluies de septembre octobre (transition été automne) ont un caractère convectif.

L'analyse des résultats obtenus sur les trente six stations test montre que l'erreur relative entre l'intensité estimée par notre modèle et l'intensité mesurée au sol varie entre 6 % et 30 % et dépend de la station considérée. Il est à noter que le modèle surestime les très faibles quantités de précipitations enregistrées. Ce résultats était un peu prévisible car une régression linéaire multiple tend à sous estimer les maximums et à surestimer les minimums.. De fait, l'utilisation d'une régression en exponentielle aurait pu donner de meilleurs résultats , mais cette approche convient uniquement aux nuages convectifs.. Les nuages considérés dans cette étude sont des nuages plutôt bas (stratocumulus) et relativement chaud. Notons que l'insuffisance du modèle est due essentiellement à certaines raisons pratiques. Le résultats peut être amélioré si :

- On considère une série chronologique s'étalant sur trois à quatre années
- On prend en compte le canal du visible dans la quantification des précipitations
- On utilise des images semi-horaires. En effet, de fortes précipitations peuvent se produire pendant l'intervalle séparant deux images consécutives sans qu'il y ait de traces sur les images.

Il est à noter que l'utilisation des données d'un réseau pluviométrique nécessaire au calibrage du modèle peut conduire à des résultats erronés. Plusieurs études ont démontré que la variation spatio-temporelle des pluies est plus forte que celle des nuages. Outre cela, l'écart de localisation spatiale qui existent entre les mesures satellitales et les mesures pluviométriques est importante. En effet, l'échelle spatiale minimale sur l'image est de 25 km² alors que l'aire de réception d'un pluviomètre est réduite à quelques décimètres carrés.

4. Conclusion

Le modèle de régression linéaire multiple proposé, liant l'ennuagement, la latitude, la température des nuages à sommets froids et les précipitations journalières sur l'ensemble des stations météorologiques du territoire national a donné des résultats acceptables. En effet, l'erreur relative moyenne obtenue sur un échantillon assez représentatif avoisine les 20 %. L'utilisation des images demi horaires aurait considérablement amélioré les résultats du modèle et réduit l'erreur. Comme la durée de vie d'une cellule convective est de l'ordre de 20 à 30 minutes, le modèle ne parvient pas à reproduire les importants pics de précipitations. Afin d'améliorer la performance du modèle, il aurait été nécessaire d'introduire d'autres prédictors, comme par exemple la vitesse verticale du vent (processus de convection) ou la normale (la moyenne des précipitations calculée sur une trentaine d'années). Notons qu'avec Météosat Seconde Génération (MSG), muni de 12 canaux et caractérisé par une fréquence de prise d'images de 15 minutes, les modèles d'estimation des précipitations connaîtront d'importantes performances.

Références bibliographiques

- Arkin, P. A. et B. Meisner, 1987 : The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere durind 1982-1984. Mon. Weather Rev., 115 (1), pp 51-74.
- Desbois, M., T. Kayiranga et B. Gnamien, 1989 : Diurnal cycle of convective cloudiness over Tropical Africa observed from METEOSAT : Geographic characterization and interannual variations. Ann. Geophys., 7 (4), pp. 395-404.
- Kidder, S. Q. et T. H. Vonder Haar, 1995 : Satellite Meteorology : An introduction. Academic Press.
- Levizzani, V., J. Schmetz, H. Lutz, J. Kerkmann, P. P. Alberoni et M. Cervino, 2001 : Précipitation estimation from geostationary orbit and prospects for Meteosat Second Generation. Meteor. Appl., 8, pp. 23-41.
- Petty, G.W., 1995 : The stratus of Satellite-Based Rainfall Estimation over Land. Rem. Sens. Environ., 51, pp. 125-137.

**ÉLABORATION D'UN INDICE POUR LA PRÉVISION
DU PHÉNOMÈNE DE CYCLOGENÈSE
À PROXIMITÉ DES CÔTES AFRICAINES**

S. M. Sall * et H. Sauvageot **

* Université Cheikh Anta Diop – Ecole Supérieure Polytechnique,
Laboratoire de Physique de l'Atmosphère Siméon Fongang - Dakar – Sénégal
email : smsall@ucad.sn

** Université Paul Sabatier – Observatoire Midi-Pyrénées,
Laboratoire d'Aérodynamique – Toulouse – France
email : sauh@aero.obs-mip.fr

Résumé : Les systèmes convectifs soudano-sahéliens parviennent souvent jusqu'au Sénégal. Au cours de leur déplacement d'est en ouest, ces systèmes prennent souvent la forme de lignes de grains. A la fin de leur parcours continental, certaines perturbations s'affaiblissent et se dissipent sur l'océan non loin de la côte, alors que d'autres se renforcent. Ces dernières semblent jouer un rôle déterminant dans la genèse des cyclones tropicaux (Gray et Landsea, 1992). Dans ce papier, en s'inspirant des travaux de Gray (1977, 1979) et Gray et al. (1994, 1999), nous avons construit un indice pour prévoir le phénomène de cyclogenèse pouvant résulter du renforcement de ces systèmes sur l'Atlantique. Nous observons une bonne correspondance entre le maximum de l'indice et le début de cyclogenèse pour des dépressions tropicales observées sur l'Atlantique Est.

Mots-clés : Cyclogenèse, Océan Atlantique, indice.

Introduction

A partir des paramètres dynamiques et thermodynamiques de l'atmosphère Gray (1977, 1979) a élaboré un indice pour développer une climatologie des zones de cyclogenèse. La notion de cyclogenèse dans ce travail fait référence au développement sur l'océan d'une dépression tropicale à partir d'une perturbation préexistante (Frank, 1987)

Avec des données composites obtenues à partir de radiosondages sur l'Atlantique du nord-ouest et le nord-ouest Pacifique, McBride (1981a) a utilisé l'indice de Gray pour étudier les différences régionales des systèmes sur ces deux océans. Il montre que le taux d'évaporation est beaucoup plus important sur le Pacifique. Sur chacun des bassins, il compare les systèmes développés (pré-cyclones et cyclones matures) et les systèmes non-développés et trouve que le potentiel dynamique (défini à partir des paramètres tourbillon vertical, Coriolis et cisaillement vertical du vent) présente des différences importantes alors que le potentiel thermique (défini à partir des paramètres énergie océanique, température potentielle équivalente et humidité) est presque stable.

Dans ce papier, nous élaborons un indice de cyclogenèse pour mettre à profit les variations des perturbations d'origine africaine en vue d'appréhender les processus de renforcement ou de dissipation de ces systèmes sur l'Atlantique. Cet indice vise particulièrement, d'une part, à améliorer la connaissance des processus de déclenchement de la cyclogenèse à partir des perturbations d'origine africaine et, d'autre part, à expliquer la dissipation rapide de certains systèmes convectifs juste à l'ouest de la côte. Nous ne nous intéressons pas particulièrement à l'évolution des cyclones, nous renvoyons le lecteur aux nombreux articles qui y sont consacrés (Gray, 1977, 1979 ; McBride, 1981a ; McBride et Zehr, 1981 ; Landsea et al., 1999). Ce qui nous intéresse ici est l'étude de la transition entre une perturbation d'origine africaine, type ligne de grains et un début de cyclogenèse, un volet encore peu exploré.

A l'aide des paramètres météorologiques caractérisant l'instabilité de l'Atmosphère, nous avons retenu le principe suivant : on définit pour chaque paramètre un indice appelé « indice du paramètre » qui croît lorsque les conditions de cyclogenèse se renforcent. En plus des paramètres utilisés par Gray, réadaptés pour certains, nous avons défini d'autres composantes qui jouent un rôle déterminant dans la variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest. Notre indice de cyclogenèse est une combinaison de l'ensemble de ces indices de paramètres.

1. Données

Les données du radar de Dakar (Sénégal) sont utilisées pour sélectionner quelques cas de systèmes convectifs subissant d'importantes modifications au niveau de la zone interface entre le continent et l'océan. Ainsi, 8 cas de systèmes se renforçant et 7 cas de systèmes qui s'affaiblissent en quittant le continent ont été répertoriés.

Pour tester notre indice de cyclogenèse, nous utilisons les données du rayonnement ondes-longues sortant au sommet de l'atmosphère (OLR) fournies par les satellites de la série TIROS-NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). En effet, les valeurs faibles du flux ondes-longues sortant au sommet de l'atmosphère coïncident bien avec les systèmes convectifs de forts développement vertical.

Les réanalyses du NCEP/NCAR sont utilisés pour calculer les différents indices de paramètres caractéristiques des zones d'instabilités.

2. Indice de cyclogenèse

L'indice de cyclogenèse (ICYC) est obtenu en faisant une combinaison des indices de paramètres. ICYC est donné par l'expression :

$$ICYC = f \times IQ \times ICI \times \left(\frac{IPV}{5 - ITV} \right) \times (35 + IRE - ITe)$$

où : f est le paramètre de Coriolis, IQ l'indice d'humidité dans les couches moyennes, ICI l'indice du cisaillement entre 700 et 200 hPa, IPV l'indice du tourbillon potentiel dans les couches moyennes, ITV l'indice du tourbillon vertical dans les basses couches, IRE l'indice du réchauffement dans les couches supérieures et ITe l'indice du gradient vertical de la température potentielle équivalente entre le sol et le niveau 600 hPa.

L'indice de cyclogenèse est exprimé en UPV.K où UPV représente l'unité du tourbillon potentiel ($K.m^2.kg^{-1}.s^{-1}$).

3. Test de l'indice de cyclogenèse

La figure 1 montre l'évolution méridienne à 17.5°W (sur l'océan) de l'anomalie de l'indice de cyclogenèse ICYC pour l'ensemble des systèmes. Les cas de renforcement montrent une anomalie (par rapport à la moyenne de ICYC du mois d'août sur 10 ans) positive pour 4 des 8 perturbations autour de la latitude de passage des systèmes. Pour le cas des affaiblissements, on observe une anomalie négative au niveau de l'ensemble des perturbations. La figure 2 montre l'évolution de la moyenne par catégorie de systèmes (renforcement ou affaiblissement) et l'anomalie qui lui est associée. On observe une opposition de phase nette entre l'anomalie des deux catégories de systèmes.

Fig. 1 : Variation méridienne à 17.5°W de l'anomalie de l'indice de cyclogenèse ICYC pour l'ensemble des systèmes étudiés le jour de leur passage sur l'Atlantique. Chaque système est identifié par l'année, la lettre R pour les renforcements et A pour les affaiblissements et un numéro pour différencier les systèmes d'une même année. Il est exprimé en UPV.K.

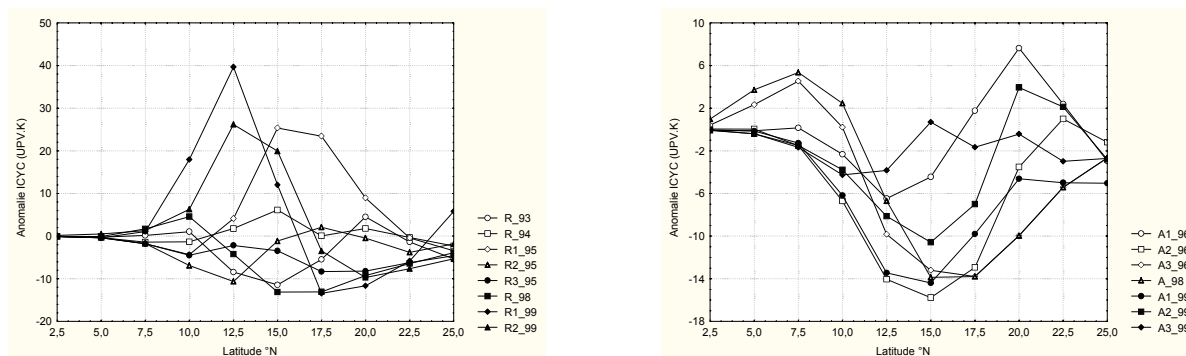
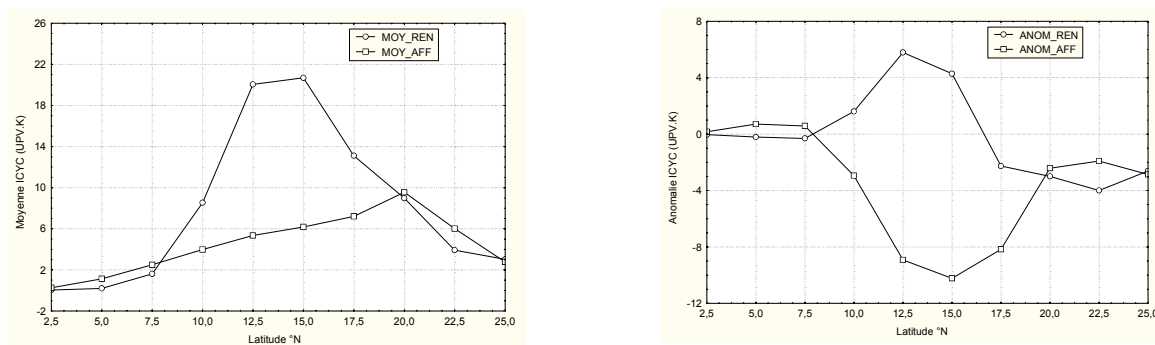


Fig. 2 : Variation méridienne à 17.5°W de la moyenne de l'indice ICYC pour chaque catégorie de systèmes et l'anomalie qui lui est associée, à l'aide des réanalyses du NCEP.



Pour étudier l'évolution de l'indice de cyclogenèse dans un repère lié à chacune des perturbations on considère la variation de ce paramètre en fonction de la position spatio-temporelle de chaque système convectif étudié. On observe que les systèmes en phase de renforcement sont caractérisés par une croissance de ICYC entre x_{t-2} et x_t , une décroissance entre x_{t+1} et x_{t+3} et une reprise de la croissance pour certains. Tous les systèmes pour lesquels on observe une croissance à partir de x_{t+4} sont associés au phénomène de cyclogenèse. Pour le cas des affaiblissements, on observe une faible croissance de ICYC avant x_{t+2} et une forte décroissance après. La moyenne par catégorie met en évidence les trois phases liées aux systèmes en renforcement et les deux phases liées aux systèmes en affaiblissement (fig. 3).

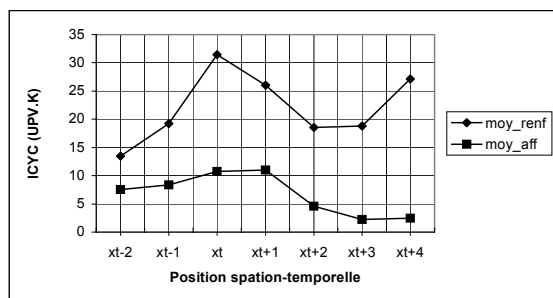
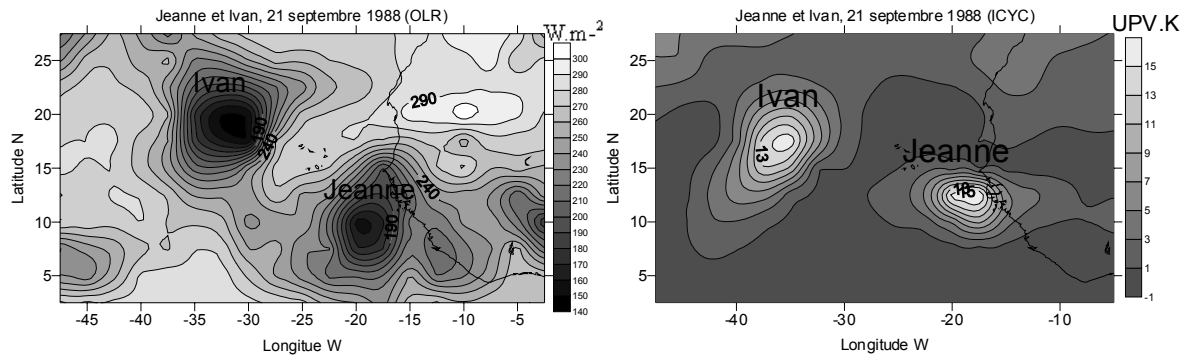


Fig. 3 : Moyenne par catégorie de systèmes de l'indice ICYC calculé en fonction de la position spatio-temporelle des perturbations. Toutes les positions sont enregistrées (avec un pas de 1 jour) par rapport à celle du passage de la perturbation sur l'océan (franchissement de la côte Atlantique), notée x_t .

Nous avons vérifié la coïncidence entre le maximum de l'indice ICYC et le début de la cyclogenèse en calculant cette grandeur pendant les dates de début de quelques dépressions tropicales formées au large des côtes africaines. On observe une assez bonne

correspondance entre le maximum de l'indice et le début des dépressions sur cette zone. Nous avons montré la capacité de ICYC à détecter une présence simultanée de deux dépressions tropicales sur le bassin Atlantique (fig. 4).

Fig. 4 : Variation de l'indice de cyclogenèse ICYC et de l'OLR dans le cas de la présence simultanée de deux perturbations cycloniques sur la bassin Atlantique.



Conclusion

Dans ce travail, nous avons construit un indice pour décrire les variations des perturbations d'origine africaine. Le but est de mettre en évidence les processus de renforcement ou d'affaiblissement des systèmes convectifs après la côte pour déceler le processus de cyclogenèse sur l'Océan Atlantique. On observe une assez bonne correspondance entre le maximum de cet indice et le début de cyclogenèse pour des dépressions tropicales observées à proximité des côtes africaines. Nous avons montré la capacité de notre indice de cyclogenèse à discriminer la présence simultanée de deux perturbations cycloniques sur la bassin Atlantique.

Références bibliographiques

- FRANK, W. M., 1987 : Tropical cyclone formation. A Global View of Tropical Cyclones, R. L. Elsberry, Ed., Naval Postgraduate School, 53-90.
- GRAY, W. M., 1977 : Tropical cyclone genesis in the western North Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 55, 465-482.
- GRAY, W. M., 1979 : Hurricanes : their formation, structure and likely role in the tropical circulation. Meteorology over the Tropical Oceans, D. B. Shaw, Ed., Roy. Meteor. Soc., 155-218.
- GRAY, W. M. AND C. W. LANDSEA 1992 : African rainfall as a precursor of hurricane-related destruction on the u.s. east coast. Bull. Amer. Meteor. Soc., 73, 1352-1364.
- GRAY, W.M., C.W. LANDSEA, P.W. MIELKE, JR., AND K.J. BERRY, 1994 : Predicting Atlantic seasonal tropical cyclone activity by 1 June. Wea. Forecasting, 9, 103-115.
- GRAY, W. M., C. W. LANDSEA, P. W. MIELKE, JR., AND K. J. BERRY, 1999 : Forecast of Atlantic seasonal hurricane activity for 1999. Dept. of Atmos. Sci. Report, Colo. State Univ., Ft. Collins, CO, released on 4 June, 1999.
- LANDSEA, C. W., R. A. PIELKE JR., A. M. MESTAS-NUNEZ, AND J. A. KNAFF, 1999 : Atlantic basin hurricanes: Indices of climatic changes. Climatic Change, 42, 89-129.
- MCBRIDE, J. L., 1981 : Observational analysis of tropical cyclone formation. Part I : Basic description of data sets. J. Atmos. Sci., 38, 1117-1131.
- MCBRIDE, J. L., AND R. ZEHR, 1981 : Observational analysis of tropical cyclone formation. Part II : Comparison of non-developing versus developing systems. J. Atmos. Sci., 38, 1132-1151.

**MÉTÉOROLOGIE ET GÉOSTRATÉGIE :
RÉFLEXIONS SUR LE RÔLE DE LA RÉPARTITION SPATIALE DES RELEVÉS
MÉTÉOROLOGIQUES DANS L'OPÉRATION OVERLORD - JUIN 1944**

E. Savouret et O. Cantat

Géophen, UMR 6554 CNRS LETG, UFR de Géographie
Université de Caen Basse-Normandie
e-mail : savouret@geo.unicaen.fr

Résumé : Les cartes météorologiques historiques, comme celles du Jour J du Débarquement de Normandie, offrent une lecture géographique représentative à l'échelle globale des observations et relevés à la disposition des prévisionnistes alliés et allemands. Dans leur comparaison, ces documents soulignent les avantages du Group Stag, à savoir des observations sur les Îles Britanniques et en Atlantique Nord. Ces données leur ont permis d'anticiper un type de temps "favorable" mais temporaire à l'intérieur d'un régime perturbé d'ouest : l'accalmie du 6 juin 1944.

Mots-clés : Météorologie, réseau d'observations, prévision, géostratégie, Jour J, Normandie.

Abstract: Historical meteorological maps of D-Day permit to describe the Allied and German spatial distribution of data for forecast of Overlord. By their comparison, it is so possible to appreciate the advantage of Group Stag, as to say measurements and visual observations on British Isles and North Atlantic which allowed them to estimate a quite weather type but temporary in an occidental disturbance: the lull of June 6th, 1944.

Key-words: Meteorology, synoptic system, forecast, geostrategy, D-Day, Normandy.

Introduction

Dans ses mémoires, Churchill mentionne que *"la Bataille de l'Atlantique a été le facteur dominant de toute la guerre. A aucun moment, nous ne pouvions oublier que, partout, les choses dépendaient de son issue"*. De fait, dès que les Alliés ont pris l'avantage sur mer en mai 1943, des milliers d'hommes, du matériel et des véhicules de tout genre ont pu être acheminés vers les Îles Britanniques pour la préparation et le lancement du Débarquement de Normandie. Au début du mois de juin 1944, le Sud de l'Angleterre était alors transformé en un immense entrepôt militaire. La "Veillée des Armes" commençait dans l'attente de conditions météo marines favorables aux opérations aériennes et amphibies prévues dans le plan Overlord...

Conformément à cette nouvelle géographie des forces en place, va correspondre une redistribution spatiale des observations météorologiques marines et aériennes, aussi bien pour les services alliés que ceux allemands. A *Southwick House*, près de Portsmouth, toutes les conditions étaient alors réunies pour prévoir l'accalmie du 6 juin. A l'aide des relevés effectués sur les Îles Britanniques et en Atlantique Nord, les météorologistes alliés ont ainsi pu anticiper le passage de cette "fenêtre" de temps favorable à l'intérieur d'un régime perturbé d'ouest bien établi. En comparaison, sans ces observations, les météorologistes allemands étaient-ils en mesure de prévoir ce type de temps ? Eisenhower a-t-il tenu compte de leur manque de données pour le lancement de l'Opération Overlord ? La géographie, cette fois-ci dans la répartition des relevés météorologiques, aurait-elle une fois de plus servi à faire la guerre ?

1. Les cartes météorologiques alliées et allemandes et leur représentativité

Le rôle de la Météorologie dans le lancement de l'Opération Overlord, ne serait-ce que par le report de 24 heures du Jour J au 6 juin 1944, peut être facilement illustré à partir des cartes de synthèse de Stagg, publiées en 1971 dans son ouvrage *Forecast for Overlord*. Quant aux cartes météorologiques d'époque, ici provenant des archives alliées du *Met Office* et allemandes du *Zentral Wetterdienstgruppe*, elles offrent une lecture géographique de la répartition spatiale des relevés météorologiques respectifs au début du mois de juin 1944.

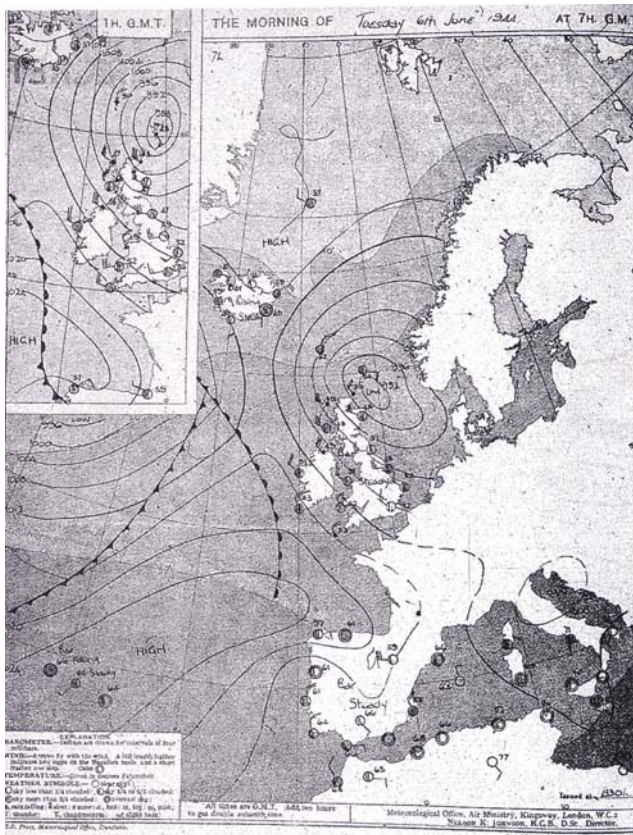


Fig. 1 : Carte météorologique alliée du 6 juin 1944.

Extraite de Daily Weather report, Meteorological Office, Air Ministry, London.
Sources : Archives Météo France

Fig. 2 : Carte météorologique allemande du 6 juin 1944.

Extraite de Täglicher Wetterbericht, Deutschen Seewarte, Hamburg.
Sources : Archives Météo France



Les deux extraits archivés ci-contre, datés du 6 juin 1944, permettent notamment de visualiser l'étendue du réseau d'observations allié et allemand. Hormis les relevés effectués en pays neutres au sud des Pyrénées (Portugal, Espagne et îles hispaniques), ces cartes sont globalement représentatives des zones tenues par les deux camps. La distribution des pointés semble calquée, voire cantonnée à la géographie politique du début de l'année 1944 des États respectivement en guerre et des espaces sous leur contrôle.

En réalité, l'ensemble des observations météorologiques recueillies dans les bureaux alliés et allemands ne figure pas sur ces cartes : ces manques peuvent être envisagés comme le résultat d'un filtre au niveau de la mise à disposition des données aux services qui les ont réalisées (Godard, 1994), suite à l'évaluation de leur fiabilité ou de leur confidentialité. En premier lieu, les observations faites en domaine maritime et aérien ne sont pas pointées. Pourtant, les navires de guerre établissaient des relevés en Atlantique Nord pour les Alliés, en Mer du Nord et en Mer de Norvège pour les Allemands, là où les derniers U-Boote (sous-marins) s'étaient repliés à l'issue de la Bataille de l'Atlantique. Il en va

de même pour les données en altitude provenant principalement des sondages par les escadrilles - comme les Halifax du *Coastal Command* allié (Stagg, 1971) – qui montaient à 20 000 pieds (environ 6 000 mètres) pour enregistrer la pression, la température et l'humidité. Des avions ennemis se retrouvaient parfois à la même heure en Mer du Nord, là où, d'un accord tacite, ils ne se sont jamais tirés dessus. D'autre part, et à titre de comparaison, la *Luftwaffe* effectuait 50 fois moins de sorties que les flottes alliées (Lecouturier, 1999) ; fait qui peut préciser l'avantage des Alliés sur l'étendue de leurs zones de survol et par conséquent sur le nombre d'observations météorologiques réalisées.

Enfin, sur les cartes alliées, ne sont pas cartographiés les relevés terrestres provenant de l'Europe occupée et de l'Union Soviétique. Les "fuites", comme les observations directement faites par quelques stations météorologiques directement installées en France, ne sont pas mentionnées. En Belgique, la comparaison des chiffres a par ailleurs contribué au décodage des observations allemandes transmises par radio. Depuis le début de l'année 1943, les Alliés arrivaient régulièrement à percer les codes allemands, même s'ils étaient modifiés tous les mois (Godard, 1994) : l'étendue de leur réseau d'informations météorologiques dépassait au total largement celui des Allemands.

2. Côté allié, des atouts pour la prévision d'une accalmie devenue historique

Globalement, même en se limitant aux données cartographiées sur la carte météorologique alliée du 6 juin 1944 (fig. 1), les services alliés disposaient d'un atout majeur pour la réussite de l'Opération Overlord : des données sur les Îles Britanniques, en Atlantique Nord et au niveau des Açores. Cette répartition spatiale des observations est effectivement idéale à la connaissance et à la prévision du temps en Manche, des rives anglaises aux rives françaises où devaient débarquer les troupes. En effet, un tiers des types de temps qui caractérisent cette région résulte de la circulation atmosphérique d'ouest (Pedelaborde, 1958).

Placé depuis février 1944 auprès du SHAEF (*Supreme Headquarters of the Allied Expeditionary Force*), le Group Stagg était chargé de recouper les informations entre les centres météo des trois Armes. Il devait opter pour une prévision entre les résultats donnés à partir de la méthode des "analogues" d'Irving P. Krick de l'*US Air Force* et de l'étude des cartes d'altitude faite par le norvégien Sverre Petterson, mobilisé au *Met Office* de Dunstable. L'étendue géographique du réseau d'observations leur a permis de prévoir l'approche d'une accalmie de 24 à 36 heures ; en d'autres termes, des conditions relativement favorables aux opérations de débarquement. La carte alliée du 4 juin permettait déjà de visualiser la divergence des isobares en arrière du front froid qui traversa la Manche tôt le 5 juin, rendant ce jour-là toute opération amphibie impossible. L'accalmie du lendemain, en combinaison avec les impératifs astronomiques (une nuit de pleine lune pour les opérations aéroportées et une marée mi-montante à l'aube pour l'assaut sur les plages), est devenue suite à la décision ultime d'Eisenhower, le Jour J du Débarquement allié en Normandie.

3. Côté allemand, des données manquantes et des préjugés

A l'issue de la Bataille de l'Atlantique, le réseau d'observations allemand a été réduit conséquemment : les prévisionnistes ne disposaient plus alors de données sur l'Atlantique, des côtes américaines à l'Europe. Les équipages des U-boote ne pouvaient plus relever les enregistrements des stations automatiques qu'ils avaient placées sur des rivages américains sûrs, comme ce fut le cas sur la côte du Labrador où une station fut découverte en 1981 près du Cap Chidley (Detwiler, 1984). A la veille du Débarquement en Normandie, la répartition spatiale de leurs mesures météorologiques était globalement limitée à l'Europe continentale, de la France au front russe et de la Norvège à la Grèce.

De fait, les météorologistes allemands ont été dans l'obligation d'extrapoler le dessin des isobares et le tracé des fronts sur les secteurs insulaires et marins britanniques, ainsi que sur les zones à risque comme les rivages septentrionaux français où le Débarquement était imminent. A partir de leurs données et de leur connaissance de la circulation atmosphérique générale moyenne, ils ont pu prévoir fort justement la dégradation globale du temps, pour une durée de 3 jours à compter du 5 juin 1944. Les conditions météo marines étaient alors si mauvaises que les généraux ont conclu à l'improbabilité

d'une opération amphibie. Ils n'envisageaient d'ailleurs pas une offensive alliée sur une période de beau temps inférieure à 6 jours consécutifs : un débarquement supposait une rotation des flottes aériennes et navales pour l'approvisionnement en hommes et en matériels de la tête de pont.

En revanche, par le manque d'observations à l'ouest de l'Europe, on peut concevoir le fait que les météorologistes allemands n'aient pas pu prévoir, ou bien trop tardivement, l'accalmie du 6 juin. Malgré tout, cette brève amélioration signifiait-elle pour autant des conditions météo marines suffisamment bonnes pour un débarquement allié ? Et sur un laps de temps suffisamment long ? D'autre part, rappelons que le Jour J la mer était encore forte, avec des creux supérieurs à un mètre cinquante - houle héritée du passage du front froid - si bien que de nombreux *landships* ont coulé et que d'autres ont dérivé, pris du retard et ont obligé les divisions à débarquer à marée montante, poussées par le flot sur les estrans piégés et minés. Les champs encore détremvés provoquaient l'atterrissage en catastrophe de quelques planeurs, certains s'écrasant dans les haies. Le vent soufflait encore de 18 à 20 nœuds (environ 30 km/h), ce qui a gêné les opérations aéroportées et contribué à la dispersion des divisions parachutées au nord-ouest de Carentan.

Rommel, parti le 5 juin en Allemagne, pouvait-il imaginer qu'Eisenhower lancerait l'Opération Overlord avec ce type de temps et qu'il en ferait une opportunité stratégique ? Rappelons d'ailleurs que d'un point de vue stratégique, deux ans auparavant, Hitler et ses généraux avaient profité du "mauvais" temps (plafond bas, brouillard et neige en Manche) pour rapatrier trois bâtiments de guerre de Brest à Wilhelmshaven, sur le littoral allemand de la Mer du Nord (Detwiller, 1981). De cette expérience, ils savaient que la prévision météorologique pouvait être un atout. En d'autres termes, s'ils avaient pu anticiper la formation de cette accalmie, comme le firent les météorologistes alliés dès le 4 juin, les hauts gradés allemands auraient-ils quitté leur poste ? Cela aurait-il changé le cours de l'Histoire, si l'on tient compte de la difficulté qu'ont eu certaines divisions débarquées le matin du 6 juin à remplir leur mission - près de 3 000 victimes à *Omaha Beach la Sanglante* - ou par la suite à progresser dans les terres : il fallut près d'un mois pour libérer la ville de Caen !

Conclusions

Quelque soient les hypothèses historiques que peuvent soulever cette interprétation géographique des cartes météorologiques, cette approche souligne une fois de plus le rôle de la Météorologie et de la Géographie dans l'Histoire, ici de la Seconde Guerre mondiale. Ces documents météorologiques archivés ne sont-ils pas d'ailleurs le reflet d'une géostratégie : l'extrapolation des cartes synoptiques sur les secteurs sans pointés d'observation traduit le contexte politique au début de l'année 1944. Les documents allemands, avec les isobares et les fronts tracés bien au-delà du Mur de l'Atlantique, nous rappelle que le Débarquement était imminent, son lieu encore inconnu... La carte du *Met Office* semble, quant à elle, préciser le futur théâtre des opérations amphibies et des intentions militaires, avec une extrapolation en Manche puis au-delà en France... Ces cartes historiques soulignent ainsi les intérêts militaires et illustrent, en ce sens, le rôle de la géographie dans la stratégie.

Références bibliographiques

- DETWILLER J., 1981 : Pages d'Histoire emportées par le vent, *Cols bleus*, n° 1680, pp. 6-12
- DETWILLER J., 1984 : Il y a quarante ans... météorologie et débarquement, *Met Mar*, n°123, pp. 39-43
- GODART O., 1994 : *Préparation météorologique du Débarquement*, *Met Mar* n°163, pp. 1-6
- LECOUTURIER Y., 1999 : *Les Plages du débarquement*, itinéraires de découverte, éd. Ouest France, 127 p.
- MÉTÉO FRANCE : Archives cartographiques
- PEDELABORDE P., 1958 : *Le climat du Bassin parisien : essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique*, Ed. M.-Th. Génin, 2 vol., 539 et 116 p.
- STAGG J.-M., 1971: *Forecast for Overlord*, ed. Ian Allan, Shepperton, Surrey.

SIMULATION DES TEMPÉRATURES MOYENNES SAISONNIÈRES MAXIMALES EN GRÈCE PAR UNE APPROCHE DE RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIELS

*K. Tolika*¹, *P. Mahéras*¹, *M. Vafiadis*² et *CHR. Anagnostopoulou*¹

¹Département de Météorologie et de Climatologie, Université de Thessaloniki, Grèce
e-mail: maheras@geo.auth.gr

²Division Hydraulique, Faculté de Technologie, Université de Thessaloniki, Grèce

Résumé : On utilise le principe des réseaux de neurones artificiels (RNA) afin de proposer une méthode de focalisation (downscaling) et de simulation des températures maximales saisonnières en Grèce. La méthode développée s'avère très efficace, car les résultats obtenus (écarts et coefficients de corrélation entre simulation et observation pour la période de validation) sont tout à fait satisfaisants.

Mots clés : Simulation, réseau de neurones artificiels, températures maximales, Grèce

Abstract: In the present paper, using the Artificial Neural Network (ANN) technique, we tried to construct a downscaling and simulation method for the maximum seasonal temperatures in Greece. This method is proven to be very efficient due to fact that the results (biases and correlation coefficients between the simulated and the observed data for the validation period) are very satisfactory.

Key words: Simulation, Artificial Neural Network, maximum temperatures, Greece

Introduction

La construction de scénarios concernant l'évolution du climat futur, sous des conditions de réchauffement global à l'échelle régionale ou locale, est nécessaire pour l'évaluation de l'impact d'un changement climatique sur les activités concernant les cultures, l'environnement, la consommation de l'énergie, le tourisme, etc. Pour la construction de scénarios supposant une concentration accrue des gaz à effet de serre, on utilise les modèles de circulation générale (MCG ou GCM en anglais), mais la faible résolution spatiale de leur simulation, constitue un obstacle à leur utilisation pour des études d'impacts (Palutikof et al., 1997; Goodess and Jones, 2002). C'est pour cela qu'ont été développées plusieurs techniques de focalisation (downscaling), c'est à dire d'amplification spatiale et temporelle de la circulation générale (Hufty, 2001). Ces techniques se divisent en deux grandes catégories, fondées soit sur les modèles eux-mêmes (McGregor, 1997), soit sur des méthodes empiriques, ces dernières méthodes fournissant des solutions simples (Trigo and Palutikof, 1997; Goodess and Jones, 2002).

1. Données et Méthode.

Dans cette étude on a utilisé le principe des réseaux de neurones artificiels (RNA) afin de construire une méthode de focalisation et de simulation des températures maximales saisonnières en Grèce. L'avantage de cette méthode, par rapport à la méthode de régression multiple linéaire, réside dans le fait que cette approche cherche la meilleure relation mathématique (linéaire ou non) entre les données de la circulation atmosphérique et les éléments locaux du climat sans avoir à faire des restrictions préalables (Trigo and Palutikof, 1999). De ce fait la méthode est capable de capturer un certain nombre de relations non linéaires entre les climats locaux et la circulation atmosphérique.

On a utilisé les données saisonnières des géopotentiels au niveau de 500hPa en points de grille (une valeur par $1 = 2,5^\circ$ et $1 = 2,5^\circ$) de NCEP/NCAR Reanalysis project, couvrant l'Europe et la Méditerranée, sur la période 1958-2000. On a utilisé également les données des températures moyennes maximales saisonnières de 20 stations helléniques distribuées de façon uniforme (période 1958-2000). La période de calibration pour la construction du modèle comprend 28 années (1958-1978 + 1994-2000) tandis que la période de validation du modèle s'étend sur 15 années (1979-1993). La performance de la méthode utilisée a été testée en comparant les résultats du modèle, pour la période de validation, avec les données d'observation de la même période, par le calcul d'un certain nombre de paramètres: l'écart entre les températures moyennes saisonnières simulées et observées, l'écart des écarts types des mêmes valeurs et le coefficient de corrélation.

2. Résultats

Pour illustrer les résultats obtenus nous avons construit les cartes saisonnières de la distribution géographique: des coefficients de corrélation simple entre les 15 valeurs observées et simulées pour chaque station, des écarts moyennes des températures maximales, observées et simulées et des écarts types correspondants. Enfin, nous avons construit les figures illustrant l'évolution temporelle des températures moyennes maximales observées et simulées (1979-1993) ainsi que le coefficient de corrélation correspondant.

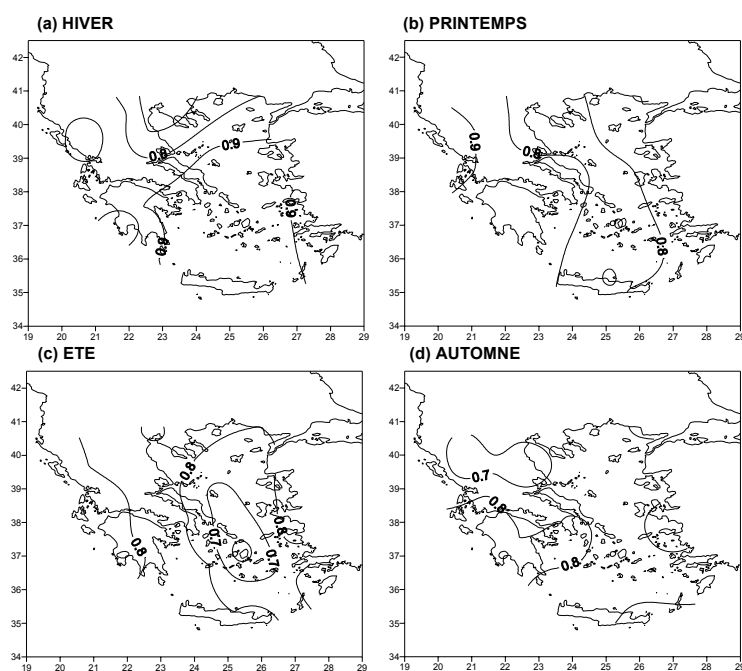


Fig. 1 : Distribution géographique des coefficients de corrélation entre les températures moyennes maximales saisonnières observées et simulées pour la période de validation 1979-1993.

La figure 1 concerne la distribution géographique des coefficients de corrélation saisonnière simple entre les valeurs observées et simulées. Des valeurs égales ou supérieures à 0,9 sont obtenues en hiver sur la mer Egée et sur les deux extrémités ouest et est du pays. C'est au nord du pays que l'on trouve les corrélations les plus faibles (0,65). Au printemps, les corrélations varient entre 0,9 et 0,75, c'est à l'ouest, le long de la mer Ionienne que l'on trouve les corrélations les plus élevées. En été, les corrélations sont un peu plus faibles qu'au printemps notamment dans les Cyclades. Durant cette saison l'image fournie par la distribution géographique des coefficients de corrélation est tout à fait différente de celle de l'hiver. Le maximum apparaît au nord dans le continent tandis que le minimum est au sud dans la mer Egée méridionale (Cyclades). Enfin, en automne les valeurs maximales apparaissent au sud ouest du Péloponnèse (0,85) tandis que le minimum (0,65) se forme en Thessalie.

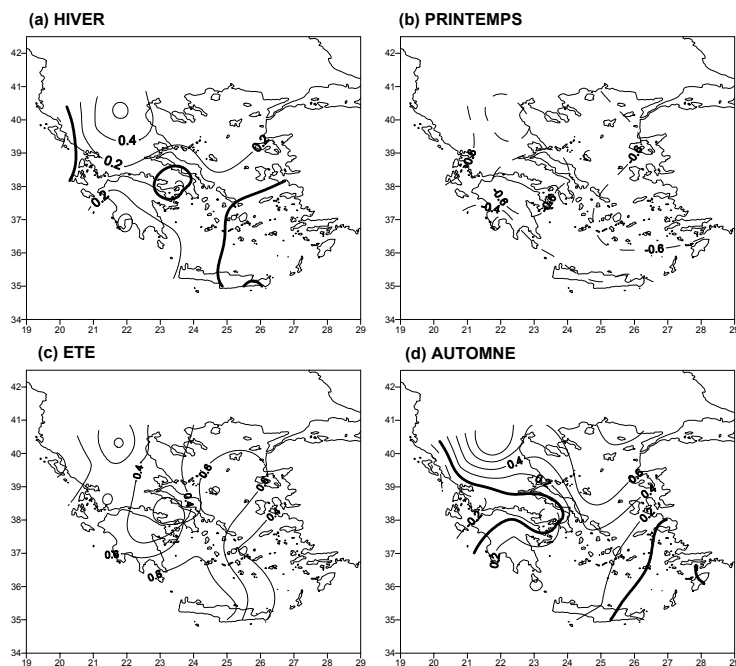
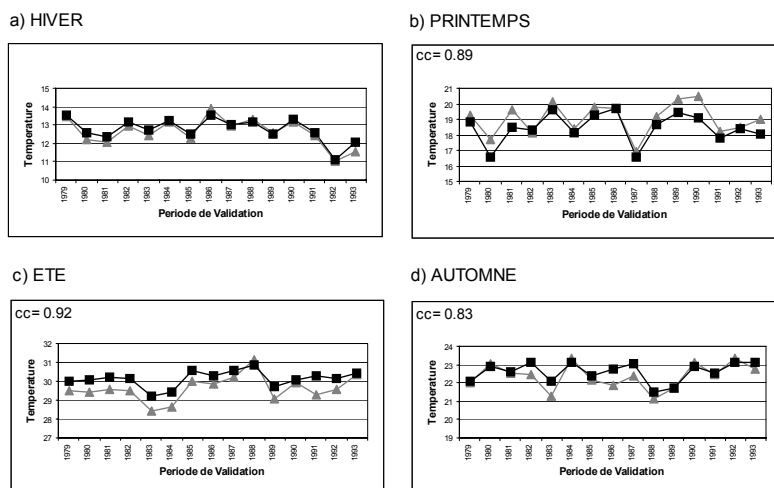


Fig. 2 : Distribution géographique des écarts entre les températures moyennes maximales saisonnières simulées et observées

La figure 2 illustre les écarts moyens des températures maximales saisonnières simulées et observées. D'après cette figure on constate que l'hiver, l'été et l'automne présentent des écarts positifs à savoir que le modèle surestime les températures maximales tandis que le printemps connaît des écarts négatifs à savoir que le modèle sous-estime les valeurs des températures maximales. Ces écarts apparaissent moindre en hiver par rapport aux valeurs des autres saisons.

Les écarts entre les écarts types de températures moyennes maximales simulées et observées apparaissent pour toutes les stations et pour toutes les saisons négatifs. A savoir que le modèle sous-estime la variabilité interannuelle saisonnière des températures maximales. Ces écarts varient entre 0 et 0,5. Ils sont plus élevés au-dessus du continent qu'au-dessus de la mer, et le printemps est la saison qui présente les écarts les plus faibles. Enfin, on compare les séries chronologiques des températures moyennes saisonnières simulées et observées (fig.3). L'accord entre les deux séries de températures est très bon, les coefficients de corrélation varient entre 0,96 (hiver) et 0,83 (automne).

Figure 3. Variation interannuelle des températures moyennes maximales saisonnières observées (triangle) et simulées (carré) pour la période de validation (cc = coefficient de corrélation)



Conclusions

La technique des neurones artificiels s'avère très efficace pour la simulation des températures moyennes saisonnières maximales en Grèce, car les résultats obtenus (écarts et coefficients de corrélation entre simulation et observation) pour toutes les saisons sont tout à fait satisfaisants. L'hiver est la saison qui présente les meilleures corrélations et les plus faibles écarts entre les températures observées et simulées. Cela peut s'expliquer, pour partie, par les corrélations plus fortes entre la circulation atmosphérique et les températures maximales par rapport aux autres saisons. Il est à noter que le printemps est la saison qui présente d'une part des températures simulées sous-estimées par rapport aux températures observées, d'autre part la variabilité interannuelle des températures simulées la plus proche de la variabilité des températures observées par rapport aux autres saisons. Cette particularité du printemps est plutôt un effet artificiel de la méthode appliquée pour faire la simulation (technique des neurones artificiels) car d'autres méthodes appliquées comme par exemple l'analyse canonique ou la régression multiple linéaire offrent des résultats identiques durant toutes les saisons (surestimation).

A l'occasion de ce travail nous avons constaté que le modèle est en partie incapable de reproduire la variabilité observée des températures moyennes maximales saisonnières. A l'avenir, il nous paraît prometteur d'améliorer le modèle de simulation en ajoutant également d'autres prédicteurs comme par exemple les valeurs de géopotentiels d'autres surfaces et d'autres paramètres tels que l'humidité relative ou l'humidité spécifique.

Remerciements : Cette communication a été faite dans le cadre du projet STARDEX financé par la Commission Européenne sous le numéro EVK2-CT-2001-00115

Références bibliographiques

- HUFTY A., 2001. Introduction à la climatologie; De Boeck Université. De Boeck et Larcier, Editions de Boeck Universités, Bruxelles, 589p.
- GOODESS, C.M., JONES, P.D., 2002. Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall, *International Journal of Climatology*, 22, 1593-1615
- MCGREGOR, J.L., 1997. Regional climate modelling, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 63, 105-107.
- PALUTIKOF, J.P., WINCKLERN, J.A., GOODESS, C.M., ANDERSEN, J.A., 1997. The simulation of daily temperature time series from GCM output. Part: Comparison of model data with observations, *Journal of climate*, 10, 2497-2513.
- TRIGO, R.M., PALUTIKOF, J.P., 1999. Simulation of daily temperatures of climate change scenarios of Portugal: A neural network model approach, *Climate Research*, 13, 45-59

**MISE AU POINT D'UN INDICATEUR DE STRESS HYDRIQUE
PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE
(APPLICATION À LA POMME DE TERRE)**

Alain A. Viau et Serge Olivier Kotchi

Laboratoire de géomatique agricole et d'agriculture de précision
Département des sciences géomatiques, Centre de recherche en géomatique
Université Laval, Québec
e-mail : alain.viau@scg.ulaval.ca

Mots clés : agrométéorologie, thermographie infrarouge, agriculture de précision, stress hydrique, paramètres biophysiques, variables écophysologiques.

Introduction

La gestion de l'eau se trouve au centre de plusieurs débats internationaux. L'eau est de près ou de loin reliée à plusieurs enjeux économiques et environnementaux. L'irrigation des cultures, la pollution de la nappe phréatique, la sécheresse, les feux de forêt, les érosions, etc, sont autant de phénomènes qui requièrent aujourd'hui une attention particulière, et qui relancent sans cesse le débat sur l'eau.

L'insuffisance d'eau ou déficit hydrique est synonyme de baisse de rendement pour les végétaux de grande culture tel que la pomme de terre; dès lors pour rentabiliser les productions, l'irrigation devient une solution préconisée dans les régions où la pluviométrie est insuffisante ou aléatoire. Des auteurs mentionnent l'importance de l'irrigation dans la culture de la pomme de terre au Québec (Dubé et Rochette, 1985). Cependant l'irrigation requiert d'appliquer la quantité d'eau dont la plante a besoin pour éviter le lessivage des fertilisants et pesticides pouvant contaminer la nappe phréatique. Ce besoin de dosage contrôlé est maintenant pris en compte par l'agriculture de précision, qui vise à ajuster les pratiques agricoles aux propriétés du sol et aux besoins des végétaux qui sont variables à l'intérieur des champs (Viau., 2000).

Les avantages qu'offrent les mesures optiques et thermiques pour l'agriculture de précision sont multiples. De l'estimation du rendement des cultures à la détection de stress, l'information issue des capteurs spectraux a fait l'objet de plusieurs études portant sur la caractérisation de l'état des surfaces agricoles et des cultures. Dans cette vision globale, la réponse thermique des végétaux sous différentes conditions hydriques est une voie de recherche fortement exploitée, en vu du suivi de l'irrigation et la prévention des conditions de sécheresse.

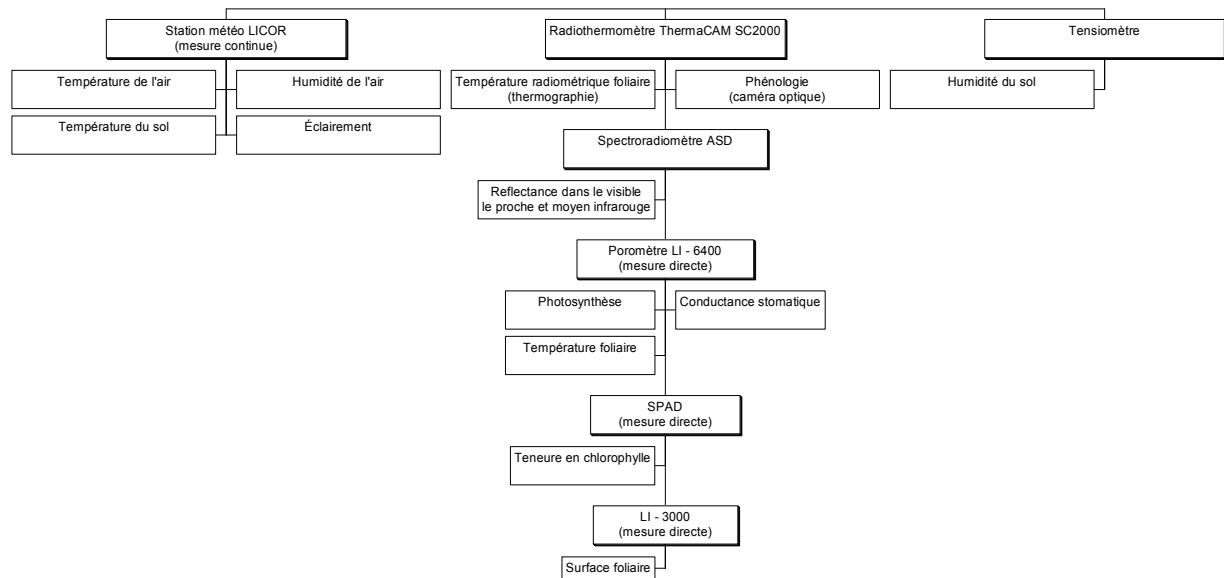
La mesure directe des variables écophysologiques (conductance stomatique, activité photosynthétique) pour la connaissance de l'état hydrique de la plante est délicate à mettre en œuvre (Luquet , 2002). Différentes méthodes ont été utilisées pour estimer le bilan hydrique d'une culture et l'utilisation de la thermographie infrarouge thermique semble offrir des voies prometteuses. Elle présente l'avantage de la rapidité et de la facilité d'acquisition, nécessaire pour un diagnostic hydrique intra-parcellaire. Elle va permettre le développement de plusieurs indicateurs de stress hydriques basés sur la relation qui existe entre les propriétés optiques et la température des plantes et leur état hydrique. Cette étude vise à développer un outil diagnostique pour la détection précoce et la prévention du stress hydrique chez la pomme de terre, par la mise au point d'un indicateur de l'état hydrique directement accessible par thermographie infrarouge.

1. Méthode

Les expériences se sont déroulées en serre sur des cultures de pomme de terre (les variétés highlite et chieftain) sur le site de l'Université Laval du 06 février au 22 mai 2003. Ils consistaient dans un premier temps à induire une contrainte hydrique par un arrêt total de l'apport en eau à différents stades de développement de la culture. Dans un second temps plusieurs niveaux de contrainte hydrique ont été induits à un même stade de croissance. Des plants servants de témoins ont été normalement irrigués tout au long de l'expérience.

L'étude est menée dans une approche systémique (fig. 1) qui vise à caractériser les variables d'état du système sol-végétation-atmosphère (SVAT). Les mesures de la température foliaire par thermographie infrarouge ont été effectuées à plusieurs niveaux d'échelle (feuille, plante, bloc de plants) et dans plusieurs angles de visée avec la caméra infrarouge thermique Thermacam SC 2000 de la compagnie FLIR system. Ces mesures ont été prises au même moment que les mesures de l'humidité du sol et les données de la station météorologique de la serre. Ainsi la caractérisation du système SVAT est effectuée par le suivi et la mesure directe des conditions d'état du sol (température et humidité), de la plante (photosynthèse, taux de chlorophylle, température foliaire, surface foliaire) et de l'atmosphère (température de l'air, humidité relative de l'air). En plus de la radiothermométrie, des données de réflectance dans le visible, le proche infrarouge et le moyen infrarouge ont été mesurées avec un spectroradiomètre ASD.

Fig. 1 : Protocole de mesure.



2. Résultats

Les résultats préliminaires de l'étude montrent que la température foliaire mesurée par thermographie infrarouge présente une forte potentialité de discrimination du stress hydrique chez la pomme de terre (fig. 3). Ils confirment par ailleurs que la différence de température entre la couverture végétale et l'air est un indicateur du déficit hydrique chez la plante (fig. 2). Cependant plusieurs autres paramètres tels que l'humidité de l'air influencent la réaction de la plante face au manque d'eau. Ce qui nous amène à rechercher un indicateur qui tienne compte de ces variables.

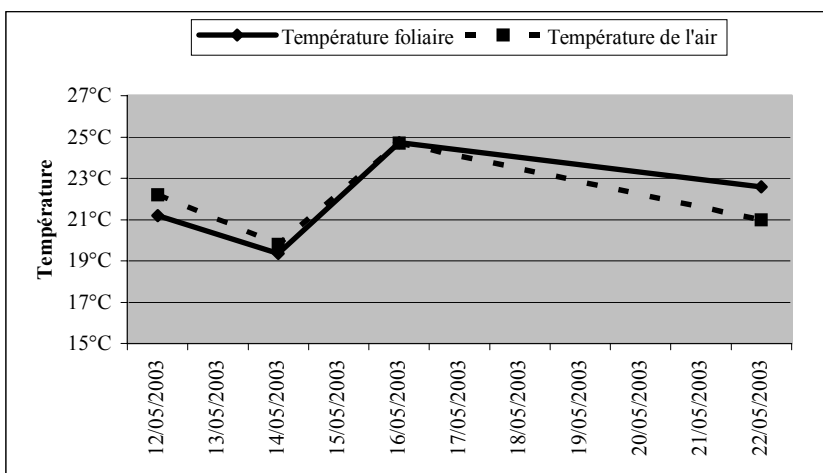
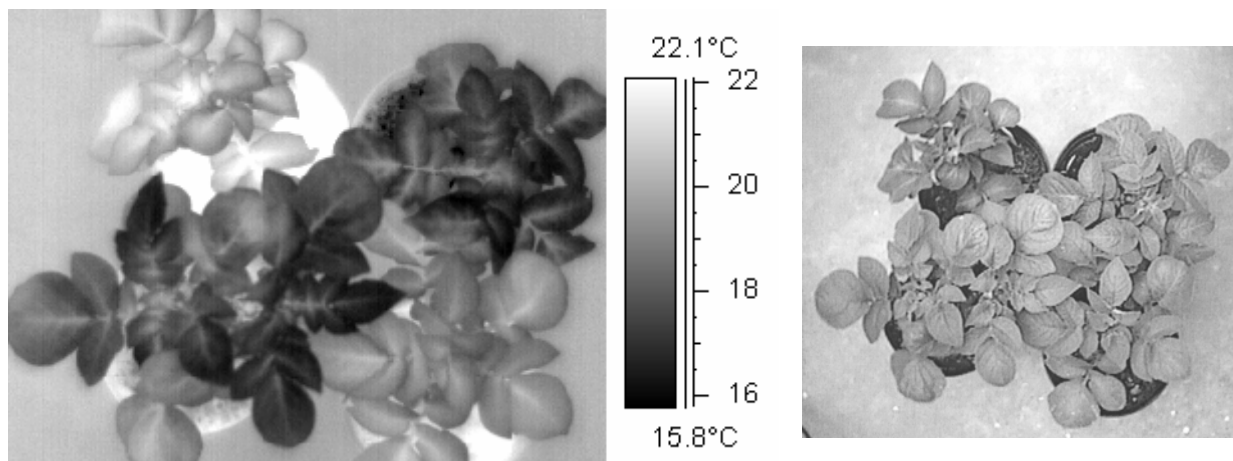


Fig. 2 : Évolution de la température foliaire d'une plante par rapport à la température de l'air après l'arrêt de l'apport en eau.

Fig. 3 : Thermographie d'un couvert de plants de pomme de terre composée de plants témoins (apport en eau non limité) et de plants en état de stress hydrique (plants moins foncés sur la thermographie)



Conclusion

Plusieurs indicateurs de stress hydriques ont été développés pour cartographier des états de sécheresse et aider au pilotage de l'irrigation. Certains, rapide et facile d'utilisation, servent à quantifier des états de stress à grandes échelles (moyenne saisonnière). Par contre d'autres plus complexes, tentent de prendre en compte les paramètres environnementaux et biophysiques qui contrôlent le bilan hydrique de la végétation.

L'exploitation des propriétés thermiques des couverts végétaux à partir de la télédétection infrarouge thermique à travers des capteurs imageurs embarqués présente l'avantage de la détection précoce, de la haute résolution spatiale et temporelle, ainsi que la mise en place d'un outil diagnostique de gestion de stress applicable en agriculture de précision.

Références bibliographiques

- CAMPBELL, G. S. & J. M. NORMAN, 1990 : Estimation of plant water status from canopy temperature : and analysis of the inverse problem. In Applications of remote sensing in agriculture. pp 255-271. Butterworths, London
- GAUSSORGUES G., 1999 : La thermographie infrarouge : principes, technologies, applications. Éditions TEC & DOC – Paris.
- HAMLYN G. JONES, 1999 : Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. Agricultural and forest meteorology. 95: 139-149.
- JACKSON, R. D., IDSO, S. B., REGINATO, R. J., and PINTER, P. J., 1981: Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resource Research, 17:1133-1138.
- KACIRA M, LING PP, SHORT TH, 2002 : Establishing crop water stress index (CWSI) threshold values for early, non-contact detection of plant water stress. TRANSACTIONS OF THE ASAE. Volume 45, n° 3, MAY-JUN. 775 – 780
- KARAM F., BREJDEV J., ROUPHAEL J., LAHOUD R., 2002 : Stress hydrique. Comportement physiologique et rendement du maïs hybride au Liban. Cahier d'études et de recherches francophones/Agriculture. Vol. 11, n° 4.
- LUQUET D., 2002 : Suivre de l'état hydrique des plantes par infrarouge thermique – analyse expérimentale et modélisation 3D de la variabilité des températures au sein d'une culture en rang de cotonniers. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Garignon.
- MORAN M.S., CLARKE T.R., INOUE Y., and VIDAL A., 1994b : Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. Remote Sensing of Environment, 49, 246-263.
- MORAN M.S. ; PINTER JR P.J. ; CLOTHIER B.E. ; ALLEN S.G., 1989 : Effect of water stress on the canopy architecture and spectral indices of irrigated alfalfa. Remote Sensing of Environment 29, no.3 (1989) p. 251-261.
- NIEMEYER S., VOGT J.V., SOMMA F., BEAUDIN I., and VIAU A.A., 2000 : Drought monitoring from space. Advanced in natural and technological hazards research. Vol. 14.
- STARK, J.C.; WRIGHT, J.L. 1985 : Relationship between foliage temperature and water stress in potatoes. American potato journal, Feb 1985. v. 62 (2), p. 57-68.
- TSÉ BI TRA DARIUS, 1999 : Mesure de l'évapotranspiration réelle et des coefficients culturaux dans la culture de la pomme de terre à l'aide de lysimètre drainant. Thèse de mémoire. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval.
- VIAU A.A., 2000 : La géomatique et la collecte des données en agriculture. Premier colloque sur la géomatique agricole et l'agriculture de précision. De l'espace à la terre : toute une technologie. Québec, 23 et 24 mars 2000.

THÈME 2

LE CLIMAT : SON ÉVOLUTION ET SES EXCÈS

Changement climatique (variation)

Variabilité climatique

Phénomènes extrêmes

**SUIVI SPATIO-TEMPOREL DES TEMPÉRATURES DE SURFACE MARINE
ET DE L'UPWELLING DE LA CÔTE MAROCO-MAURITANIENNE
À L'AIDE DE LA TÉLÉDÉTECTION**

L. Amraoui et M. Leroux

Laboratoire de Climatologie, Risques, Environnement (LCRE), CNRS UMR 5600
Université Jean Moulin, Lyon

Résumé : Les eaux atlantiques marocaines et mauritaniennes se distinguent par des températures plus froides à proximité du littoral. Cette distinction a pour origine le phénomène de l'upwelling. Il s'agit d'un phénomène marin qui résulte de l'interaction entre les conditions aérologiques et la circulation océanique.

L'upwelling se signale par la remontée des eaux profondes plus froides en surface et se repère sur les images thermiques satellitales, d'une part par l'apparition d'un liseré d'eaux plus froides parallèle à la côte, et d'autre part par une structure frontale, plus ou moins serrée selon l'intensité de l'upwelling, séparant les eaux froides des eaux du large. L'extension de l'upwelling ouest africain concerne toute la côte de 10°N à 35°N avec une grande variabilité régionale et temporelle en terme d'activité, d'intensité, et d'extensions méridionale et verticale.

La mesure satellitale des températures marines apparaît comme le moyen le plus approprié, par son coût faible, son aspect synoptique et son caractère répétitif, pour l'étude des variations thermiques des eaux marines d'une manière générale, et pour l'analyse du phénomène de l'upwelling en particulier. Avec une résolution spatiale de 9 km et une résolution thermique de 0,5°C environ, les données NOAA/ AVHRR de type PATHFINDER permettent une délimitation très précise des zones qui connaissent les remontées des eaux profondes. Une base d'images couvrant une période de 18 ans (1985-2002) a permis de suivre, avec une grande précision, l'évolution spatio-temporelle des températures de surface marines (TSM). La traduction de ces mêmes données en indice thermique (en cours de validation) permet de quantifier les translations spatiales et les évolutions mensuelles et inter-annuelles de l'upwelling maroco-mauritanien en terme d'intensité et d'extension spatiale.

Mots clés : Télédétection – TSM – Maroc – Mauritanie – Upwelling – Indice thermique – variation d'intensité - extension spatiale

Abstract: Moroccan and Mauritanian Atlantic water is characterized by colder temperatures near the littoral. This distinction originates in the phenomenon of upwelling, a marine phenomenon resulting from the interaction between low-level aerological conditions and oceanic circulation.

Upwelling is marked by the increase of colder deep water to surface. It appears on thermal satellital images, on the one hand by a colder water edge paralleling the coast, and on the other hand by a more or less tightened frontal structure, according to upwelling intensity, separating cold water from off water. The West African upwelling concerns all the coast from 10°N to 35°N with great regional and temporal variabilities in terms of activity, intensity, and meridional and vertical extensions.

Satellite measurement of the marine temperatures seems to be the more adapted tool, by reason of its cost, its synoptic aspect and its repetitive nature, to study the thermal variations of marine water, and specially to the analysis of upwelling phenomenon. With a space resolution of 9 km and a thermal resolution around 0,5°C, the NOAA / AVHRR of PATHFINDER type data allows a very precise delimitation of the zones knowing the increase of deep water. An image database covering a 18 years period (1985-2002) made it possible to follow evolution of SST in time and space, with a high degree of accuracy. Transformation of data in thermal index allows to quantify the monthly and interannual intensity and spatial extension of Morocco-Mauritanian upwelling.

Key words: remote sensing - SST- Morocco- Mauritania -Upwelling – thermal Index - intensity variation - spatial extension

Introduction

La zone d'étude s'étale sur 20° de latitude entre 36°N et 16°N. Elle est régie plus particulièrement par les déplacements saisonniers de l'agglutination anticyclonique des Açores et de l'Equateur Météorologique. Le déplacement saisonnier de l'agglutination anticyclonique des Açores se traduit par des variations saisonnières des alizés maritimes qui sont impliqués directement dans le processus des remontées d'eaux froides. Vers le sud, la Mauritanie est plus influencée par les balancements saisonniers de l'Equateur Météorologique accompagnés par des changements des régimes de vents entre alizé et mousson atlantique. Enfin le courant des Canaries, très intense en hiver, est également responsable d'un refroidissement des eaux de surface marine souvent confondu avec les résurgences froides des eaux profondes.

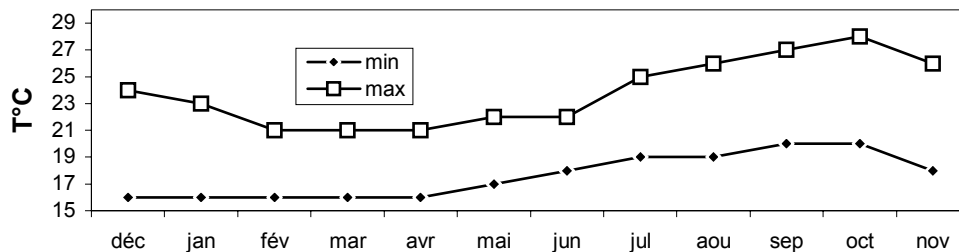
1. Evolution spatio-temporelle des TSM (1985-2002)

1.1 Variabilité moyenne mensuelle.

Une classification des images satellitales des températures marines superficielles à pas de temps mensuel d'une amplitude thermique de 1°C a permis de mettre en évidence des gradients thermiques variant dans le sens est/ouest et dans le sens nord/sud selon les mois et les régions.

La figure 1 met en exergue une saisonnalité thermique identique d'un côté et de l'autre de la frange littorale du Maroc et de la Mauritanie. Les minima représentent les températures moyennes observées au nord de la zone d'étude, tandis que les maxima représentent la zone du sud. Cette saisonnalité s'exprime par une saison froide qui débute en décembre en perdurant cinq mois jusqu'en avril. La saison chaude débute en mai pour se terminer en octobre, alors que le mois de novembre est situé dans une position de transition thermique entre l'été et l'hiver.

Fig. 1 : Moyennes mensuelles des TSM (N/S)



1.2 Étude et spatialisation du comportement thermique mensuel moyen.

Afin de préciser le comportement thermique marin superficiel de la zone Maroc-Mauritanie, une analyse en composantes principales a été effectuée sur les moyennes mensuelles de la période 1985-2002 sur les dix radiales suivantes :

35°N : la région de Laraache ; 33°N : La région d'El Jadida ; 31°N : La région de Saouira et du cap Ghir ; 29°N : la région de Laayoune ; 27°N : La région de Tarfaya et cap Juby ; 25°N : La région de Boujdour ; 23°N : la région de Dakhla ; 21°N : La région du cap Blanc ; Lagouira/Nouhadibou, 19°N : La région du cap Timiris ; 17°N : Entre Rosso et Nouakchott.

Les variables considérées sont les mois, et les individus sont les températures mensuelles de chaque pixel de la radiale.

La première composante principale résume 54,26% de l'information (fig. 2). Elle représente respectivement les mois de mars, avril, février, janvier, décembre, et moins fortement, en terme de corrélation, mai et novembre. La CP1 a l'avantage de bien faire ressortir le refroidissement thermique lié au courant des Canaries, et la structure verticale des isothermes indiquant l'upwelling du cap Juby jusqu'au sud.

La deuxième CP (fig 3) exprime 32% de la variance totale et représente le comportement thermique des mois d'août, septembre et juillet.

Les troisième et la quatrième composantes principales n'expriment, respectivement que 7,5% et 5,3% de la variance totale mais elles expliquent plus pertinemment le comportement thermique saisonnier transitoire des deux mois de juin et octobre.

Fig 2 : CP1

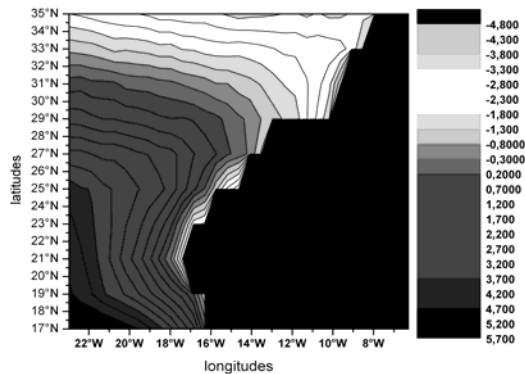
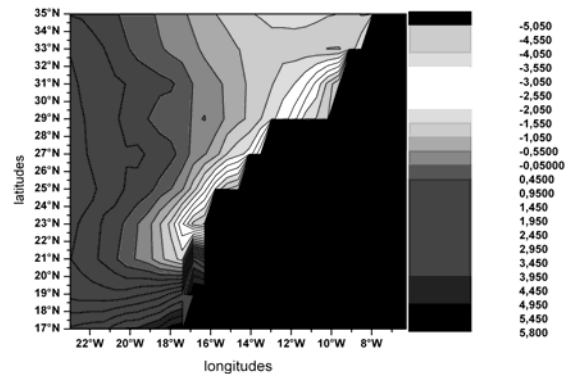


Fig 3 : CP2



2. Suivi de l'évolution spatio-temporelle de l'upwelling côtier du Maroc et de la Mauritanie en terme d'indice thermique quantifiant l'intensité et l'extension spatiale du phénomène

2.1 Aperçu sur les indices utilisés dans l'étude du phénomène de l'upwelling

2.2 Mode de calcul de l'indice thermique basé sur la différence thermique entre la côte et le large

2.3 Variabilité mensuelle, saisonnière et inter-annuelle de l'intensité de l'upwelling

- au niveau du parallèle 31°N.
- au niveau du parallèle 21°N.

2.4 Quantification de l'extension spatiale mensuelle et saisonnière de l'upwelling.

- au niveau du parallèle 31°N
- au niveau du parallèle 21°N

2.5 Evolution inter-annuelle de l'upwelling en terme d'extension spatiale

- au niveau du parallèle 31°N
- au niveau du parallèle 21°N

Conclusion

Les variations d'intensité, de fréquence, de durée et d'espace d'activité de l'upwelling nous amènent à nous interroger sur les effets des pressions et des vents de surface pour définir les changements que connaît le phénomène de l'upwelling dans le temps et dans l'espace.

Remerciements : Le traitement initial des données satellitales a été réalisé au CRTS (Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat, (Maroc)) lors d'un stage effectué sous la direction de A. Atillah.

Références bibliographiques

DEMARCO H., FAURE V., Coastal upwelling and associated retention indices from satellite SST. Application to Octopus Vulgaris recruitment, Oceanologica Acta, Vol 23-N°4, 2000.

HILMI K. et al, les changements des conditions hydrologiques et météorologiques de la côte atlantique marocaine de 1994 à 1998, Trav et Doc. N° 109, INRH.

NYKJAER L., Seasonal variability of coastal upwelling northwest Africa and Portugal from 1981 to 1991, Géo-Observateur, N° 6, juin 1995.

SHUMAWAY R., Times series analysis and its applications, 2000.

WOOSTER et al (1976) in Atillah.A, contribution des données satellitales à la compréhension de la relation océan-climat : cas de l'upwelling côtier du Maroc, atelier international « Océanographie spatiale : climat et ressources marines dans le nord ouest africain », Rabat, Maroc, 10-14 octobre 1985.

QUANTITÉS EXCEPTIONNELLES DE PRÉCIPITATIONS DANS LES SUBCARPATES DE LA MOLDAVIE

L. Apostol

Département de Géographie, Université A.I. Cuza Iasi, Roumanie

e-mail : apostolliv@yahoo.com

Résumé : Les Subcarpates de la Moldavie sont une région collinaire relativement haute, située à l'Est des Carpates Orientales. La région s'étend sur 2500 km², se déroulant sur 150 km dans un direction nord-sud sans dépasser 30 km de largeur. L'écart des altitudes se place entre 166 et 911 m, avec une altitude moyenne de 375 m. La quantité moyenne multi annuelle de précipitations est de 650 mm, identique à la moyenne de toute la Roumanie (dont l'altitude moyenne est de 420 m) (Topor, 1970). Nous avons analysé les quantités exceptionnelles de précipitations annuelles, mensuelles et diurnes. La période critique se place au début du printemps par cumul des effets des pluies et de la fonte des neiges (25-30% du nombre total d'inondations). Malgré le fait que les pires inondations de Roumanie se sont produites en 1970, au niveau des Subcarpates de la Moldavie, les plus grandes quantités de précipitations ont été enregistrées au mois de juin 1991. A cette époque a été dépassée la quantité maxima de précipitations pour 24 h dans plus de 25% des postes pluviométriques. Il y a eu plus de 100 vies humaines perdues, plus de 1.000 maisons ont été détruites et plus de 5.000 autres ont été touchées. Les aménagements hydrotechniques, les voies de communications, les réseaux électriques et téléphoniques ont beaucoup souffert ; plus de 10.000 ha de terres agricoles ont été inondés.

Mots clé : Subcarpates, Moldavie, précipitations, exceptionnelles

Introduction

Parmi les phénomènes de risques naturels de Roumanie, pendant le dernier quart de siècle, le risque climatique se trouve sur la première place du point de vue des dommages et des pertes de vies humaines, surtout à travers les quantités exceptionnelles de précipitations qui produisent des inondations catastrophiques. Les précipitations dans les Subcarpates de la Moldavie sont le résultat de l'interaction complexe d'un grand nombre de facteurs pluviogéniques, dont l'activité des fronts atmosphériques est la plus importante. Celle-ci est le résultat des cyclones islandais qui se déplacent vers l'Est au-dessus des plaines de l'Allemagne et de la Pologne, en passant par le nord des Carpates vers la Russie, ainsi que des cyclones méditerranéens, surtout de ceux avec un caractère rétrograde. La convection thermique a un rôle secondaire (avec 3 à 4% de la quantité annuelle). La quantité moyenne de précipitations des Subcarpates de la Moldavie se situe entre 514 et 804 mm. Le maximum mensuel est enregistré au mois juin, avec plus de 100 mm. Pour l'intervalle 1896-2002 la tendance générale des quantités de précipitations est à la réduction, due à la baisse en saison froide. Le nombre de jours avec des précipitations est de 79 à 139, toujours avec une légère tendance à la baisse.

1. Les quantités exceptionnelles de précipitations

Elles ont été étudiées par Topor (1964), Pătăchie, Călinescu (1986), Stoica, Struțu (1986), Bogdan, Niculescu (1999) etc. Les quantités de précipitations les plus grandes ont été enregistrées au contact de deux masses d'air maritime, dont une tropicale, où l'air s'est maintenu sursaturé au niveau des nuages, la base des nuages a été à l'hauteur de 1-1,5 km au-dessus du sol, et leur plafond supérieur n'a pas dépassé la hauteur de 7,5 km (Topor, 1970).

Les quantités annuelles exceptionnelles de précipitations se sont produites pendant les années 1897, 1912, 1966, 1969 et 1970. Les quantités mensuelles de précipitations, se sont produites au mois de mars de l'année 1909, juillet 1911, septembre 1912, mars 1915, août 1927, pendant l'automne du 1931 et le printemps de 1933, quant se sont produites des inondations amples dans l'aire des Subcarpates de la Moldavie. Les valeurs mensuelles maximales ont été de 434,7 mm, à Piatra Neamț et 501,0 mm à Buciumi au mois de septembre 1912; 421,2 mm à Moinești, au mois de juillet 1937 et 534,9 mm au mois de juillet 1970, à Bucșești (Pătăchie, Călinescu, 1986). Les quantités maximales de précipitations en 24 heures, prédominant à plus de 100 mm et sont enregistrées surtout pendant le décennie 1966-1975, surtout dans les années 1966, 1970, 1972, 1975.

Pour la production des inondations, dans les aires collinaires et montagneuses, dans le cas du sol sec, sont nécessaires des quantités de précipitations qui dépassent 30 mm/24 heures. La fréquence des inondations augmente à partir d'octobre (le mois de minimum), jusqu'à décembre, ensuite il y a une diminution au janvier, due aux températures basses; l'augmentation continue jusqu'au mois de mars, le mois avec la fréquence maxima, à cause de l'association dans certains cas, des précipitations abondantes, avec la fonte de la neige. Ensuite il y a une légère diminution au mois d'avril, des augmentations significatives de la fréquence en mai, due aux précipitations abondantes et au sol relativement humide, et ensuite, la fréquence des inondations diminue jusqu'au mois d'octobre. Les inondations produites par l'effet cumulé des précipitations atmosphériques et de la fonte des neiges occupent dans les Subcarpates de la Moldavie un taux de 25-30% du nombre total d'inondations. Les plus abondantes chutes de précipitations se produisent quand la zone frontale planétaire haute se trouve située au sud de notre pays. La plupart des quantités exceptionnelles de précipitations se produisent dans les Subcarpates de la Moldavie à la suite de l'entrée des masses d'air maritime porté par les circulations de nord et nord-ouest. Les précipitations convectives ne produisent pas d'habitude des inondations. Les quantités exceptionnelles de précipitations se produisent d'habitude au contact de deux masses d'air maritime, une polaire et une tropicale (Topor, 1970). Une autre cause importante est constituée par les cyclones méditerranéens.

2. Les précipitations à l'origine d'inondations catastrophiques

Parmi les quantités exceptionnelles de précipitations qui ont produit des inondations catastrophiques en Roumanie, pendant la dernière moitié du siècle, on remarque celle du mois de mai de l'année 1970, et les précipitations exceptionnellement abondantes de la période 1-3 VII 1975, ont produit la plus grande quantité d'eau enregistrée dans la Roumanie pour une aire vaste, dans un intervalle si court.

Les précipitations les plus catastrophiques dans les Subcarpates de la Moldavie, se sont produites, pourtant, pendant l'année 1991. Dans les Subcarpates de la Moldavie, le mois de juillet est le second en ce qui concerne la moyenne des quantités de précipitations, après le mois de juin, d'habitude avec des valeurs entre 60-100 mm, présentant une grande instabilité thermique de l'atmosphère. Pendant les années 1884, 1914, 1915, 1919, 1925, 1941, 1953 et 1975, le mois de juillet a été excessivement pluvieux. Les quantités de précipitations dues aux conditions atmosphériques météosynoptiques peu habituelles du mois de juillet 1991, ont produit plus de 200 mm dans les Subcarpates de la Moldavie, et, isolé, dans des aires voisines, plus de 400 mm, produisant des inondations. Pendant la plupart des mois excessivement pluvieux, les quantités exceptionnelles de précipitations se sont produites en 2 intervalles pluvieux, mais au mois de juillet 1991, dans les Subcarpates de la Moldavie se sont enregistrés 4 intervalles pluvieux (1-7, 15-19, 22-23, 26-30 juillet). La deuxième moitié du mois, pendant 11 jours sont enregistrées des précipitations. Les mois de mai et juin ont été pluvieux, et dans le sol s'est accumulée une grande réserve d'eau, à laquelle s'ajoutent les pluies de 1-7, 15-19, 22-23 VII, quand sont tombés environ 50-100 mm, 40-50 mm et 30-50 mm. Le 3 juillet 1991, un cyclone rétrograde a traversé les Subcarpates de la Moldavie. L'ascension frontale sur le versant est de Pietricica Bacăului, environ l'heure 15, moment de la convection thermique maximale, a produit des quantités exceptionnelles de précipitations, avec des effets catastrophiques. Cette pluie, accompagnée par des grêles, a affecté la face est de Pietricica et le bassin hydrographique de Tazlău. Dans l'intervalle 26-30 VII, pendant 48 heures, dans le département de Neamț, les quantités de précipitations sont arrivées jusqu'à 270 mm, dans le département de Bacău jusqu'à 224 mm, et dans le département de

Suceava jusqu'à 150 mm, produisant des inondations dans les bassins hydrographiques de la Moldavie, de Bistrița et de Trotuș et dans le Couloir du Siret (Stăncescu, Goți, 1992). La situation synoptique de l'intervalle 26-30 VII 1991, est due à l'activité intense d'une perturbation cyclonique située dans le talweg dépressionnaire d'une aire cyclonale ayant le centre dans l'extrémité de nord-est de l'Europe. Cette aire a présenté des contrastes thermiques et d'humidité entre son secteur chaud, dominé par air tropicale, avec des températures de 18-23°C et sa partie postérieure, avec des températures de 12-15°C. Le centre dépressionnaire situé au-dessus du Mer Noir, s'est déplacé en manière rétrograde à la fin de l'intervalle, situation rencontrée rarement pendant le mois de juillet, déterminant une réactivation intense des pluies dans les Subcarpathes de la Moldavie. La formation des inondations, a été favorisée, dans la période 26-30 juillet 1991 par le fait que la distribution des précipitations au long des bassins hydrographiques de Moldavie, Bistrița, Tazlău et Trotuș, a eu un temps de déplacement de l'amont en aval, presque égal avec celui de concentration des débits du lit principal. Pendant la nuit 28/29 VII, dans le bassin de la rivière Tazlău, se sont enregistrés plus de 50 mm, et dans la zone centrale du bassin, plus de 150 mm. Au poste pluviométrique Lucăcești, entre les heures 24-130 sont enregistrés 95,5 mm, résultant une intensité moyenne de 1,06 mm/min., intensité inhabituellement grande pour un intervalle si long; en 90 minutes se sont produites des précipitations équivalentes à une maxima absolue en 24 heures, pour cette aire. Tazlău a eu le débit d'un fleuve, avec plus de 1500 m³/s. Le barrage du lac Belci, qui avait résisté à des débits de presque 1000m³ /s, dans les années 1970,1972 et 1977, s'est rompu le 29 juillet, à l'heure 630 du matin, en produisant en aval un débit de plus de 3100 m³/s, ses eaux couvrant le village Slobozia et inondant les localités en aval, sur la vallée de Trotuș (Gura Văii, Viișoara, Florești, Vrânceni, Heltiu, Boiște). Sur le versant est de Pietricica, la rivière Răcăciuni a atteint le débit de 790 m³/s, par la rupture d'un barrage. Sans cet accident, le débit aurait enregistré 650 m³/s, possible, conformément aux calculs, chaque mille ans (Olariu, Nour, 1997). Principalement par ces accidents et secondairement par les inondations sur autres cours d'eau, dans le département de Bacău on a perdu 97 vies humaines, ont été détruites 806 maisons et ont été détériorées 4.377 maisons, ont été détruites des cultures agricoles sur presque 5000 ha et ont été inondée temporairement 7.000 ha. Sont morts plus de 5.000 animaux, ont été détruits 69 ponts, 20 km de voies de communication, des réseaux électriques et téléphoniques, des systèmes de défenses de rivages etc. (Podani, Zăvoianu, 1992). Des pertes importantes, y comprises les vies humaines, se sont enregistrées aussi dans les aires subcarpatiques des départements de Neamț et Suceava. Dans le département Neamț, par les inondations produites dans le bassin de la rivière Câlneș, affluent de Bistrița, ont été détruits trois étangs avec usage piscicole et a été inondée la localité Podoleni. A été affecté le talus d'adduction du système hydroénergétique Bistrița, sur la partie Zănești-Costișa. Au poste hydrométrique Frunzeni, Bistrița a enregistré le débit de 900 m³/s. l'inondation qui s'est produite sur la rivière Orbic, a produit des inondations dans la partie basse de la ville Buhuși.

Des inondations amples se sont produites aussi pendant le mois de juin 1993, à cause de certaines quantités exceptionnelles de précipitations tombées sur le versant d'est de Pietricica.

Le maximum de précipitations en 24 h est entre 58 et 154 mm, avec une tendance à la hausse surtout sur les trois dernières décennies. Avec l'assurance de 1% des quantités maxima de précipitations dans les Subcarpathes de la Moldavies sont de plus de 120 mm, pour 24 h, plus de 150 mm pour 48 h et plus de 170 mm pour 72 h (Călinescu et al, 1997).

Conclusion

Des événements tels ceux de 1970, 1991, 1993 etc., ont montré que les données utilisées par l'hydrologie roumaine ont été trop brèves. Il est nécessaire de refaire certains calculs qui ont servi à établir des mesures pratiques, conformément à des données plus complexes. Il est nécessaire améliorer les principes et les méthodologies de calcul concernant les travaux de combattre les inondations, surtout dans la forme des assurances de calcul auxquels on fait les dimensions des barrages, des lacs d'accumulation, les digues de protection etc. On impose de refaire les dimensions des travaux hydrotechniques au niveau des nouveaux grades d'assurance, calculés conformément à des données climatiques complexes et qui aient en vue la protection des systèmes complexes de systématisation en chaîne (Podani, Zăvoianu, 1992)

Références bibliographiques

APOSTOL L (2000), Precipitațiile atmosferice în Subcarpații Moldovei, Edit. Univ. Suceava.

CALINESCU GH., CĂLINESCU N., SOARE, E. (1997), Caracteristici și tendințe ale precipitațiilor maxime cazute în diferite intervale de timp în Moldova, Lucr. Sem. Geogr. „D. Cantemir”, nr. 13-14, Univ. „Al. I. Cuza”, Iasi.

OLARIU P., NOUR M. (1997), Aspecte ale unor viituri excepționale produse în ultimii ani în aria pericarpatică orientală, Lucr. Sem. Geogr. „D. Cantemir”, nr. 13-14, Univ. „Al. I. Cuza”, Iasi.

PATACHIE I., CALINESCU N. (1986), Cantități excepționale de precipitații înregistrate în secolul XX pe teritoriul României, Stud. și cercet. meteo., I.N.M.H., București

PODANI M., ZAVOIANU I. (1992), Cauzele și efectele inundațiilor produse în luna iulie 1991 în Moldova, SCG, t. XXXIX, Edit. Academiei, București.

TOPOR N. (1970), Cauzele unor ploi cu efecte catastrofale în România, Hidrotehn., 15, nr. 11, București.

STANCESCU I., GOTI, V. (1992), Condițiile meteosinoptice care au detrimat ploile desebit de abundente din luna iulie 1991, SCG, t. XXXIX, Edit. Academiei, Bucuresti.

**ÉTÉ 2003 : CANICULE HISTORIQUE EN AQUITAINE.
ÉTUDE À PARTIR DES DONNÉES DES POSTES CLIMATOLOGIQUES
D'AIRE-SUR-L'ADOUR (LANDES, FRANCE)**

F. Avila

Aire-sur-l'Adour - France
e-mail : fernand.avila@wanadoo.fr

Résumé : Une canicule exceptionnelle et une forte sécheresse ont sévi de mai à septembre 2003 dans le Sud-Ouest de la France. Ce phénomène climatique est analysé grâce aux relevés des stations d'Aire-sur-L'Adour dans le sud de l'Aquitaine. L'article présente les conséquences pour l'agriculture où la maïsiculture irriguée est grosse consommatrice d'eau.

Mots-clés : Aquitaine, Aire-sur-l'Adour, canicule, sécheresse, irrigation.

Abstract: An exceptional heat wave and a strong drought prevailed from May to September 2003. This climatic havoc is analysed thanks to the informations provided by climatological stations of Aire-sur-l'Adour in the south Aquitaine. This article presents the consequences for crops in an area where much water is used for irrigated maize.

Key-words: Aquitaine, Aire-sur-l'Adour, heat wave, drought, irrigation.

Introduction

Les vagues de chaleur se sont succédées du 23 mai au 21 septembre 2003 avec deux paroxysmes en juin et août. Cette canicule a surpassé tous les records précédents en durée comme en intensité : 43,5° à Cambo-les-bains (Pyrénées Atlantiques), 43,2° à Donnezac et 42° à Cazaux (Gironde), il y a eu 63 maxima $\geq 30^\circ$ à Mont-de-Marsan (anciens records 52 en 1947 et 53 en 1949). *Une vaste dorsale d'altitude, positionnée sur l'Europe occidentale, (Météo-France, 2003), est responsable de cette chaleur : forte subsidence liées à l'installation de hautes valeurs d'altitude (haut-géopotential 500hpa à 5900 mètres), comme si la ceinture d'anticyclones tropicaux était carrément remontée vers le nord.* La subsidence réchauffe et assèche l'air qui devient très chaud en basse couche.

1. Canicule exceptionnelle dans la région aturine (atura : Adour et Aire)

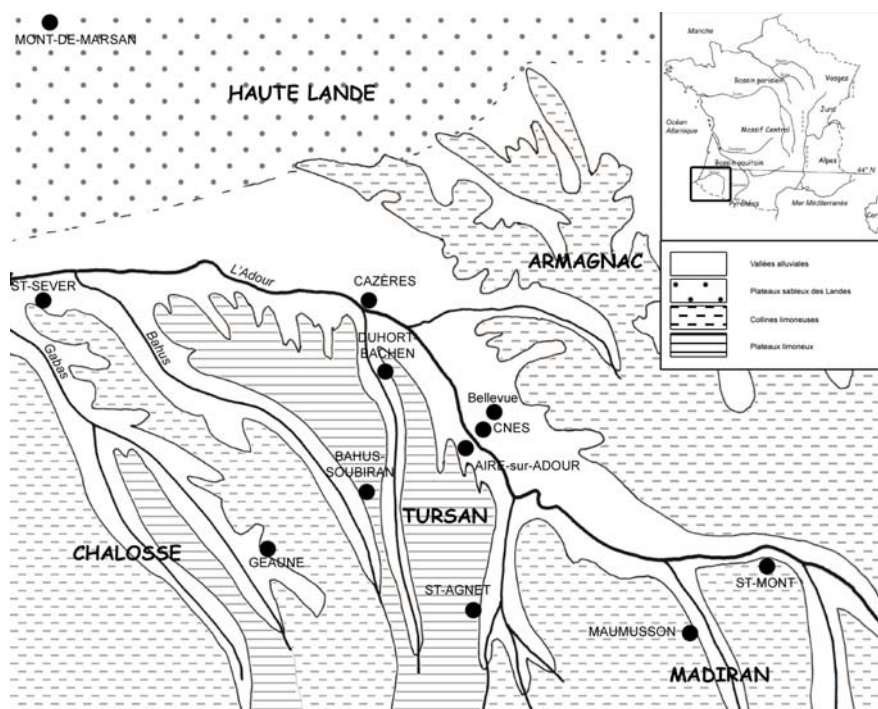
1.1 La région aturine (sud de l'Aquitaine)

Elle est située à 100 km de l'océan Atlantique et de la crête des Pyrénées, elle se compose de bas plateaux (Tursan), de collines (Chalosse, Madiran et Armagnac) et de vallées comme celle de l'Adour (Avila 1991). Les sols sont limoneux, en opposition aux sols sableux de la forêt landaise. La maïsiculture domine, associée à la vigne et aux prairies. L'été y est modérément chaud (latitude méridionale) et orageux (Avila 1986, 1999). Mais la forte chaleur est rarement persistante : "des systèmes orageux, nés de l'arrivée de descentes froides à parcours atlantique au-dessus des couches surchauffées de l'Ibérie arrosent plusieurs fois par été le Sud-Ouest" (Vigneau, 1990). Ces orages sont suivis d'un rafraîchissement marqué : le 8 août 1992 (à Aire/Adour) : maxi de 33,9°, orage violent (86,5mm de pluie), le 9 août le maxi n'est que de 19,1° (baisse de 14,8°).

Une remarquable densité de postes climatologiques (Aire/Adour) et les observations quotidiennes de l'auteur depuis 1977 permettent d'étudier les phénomènes climatiques à l'échelle locale (Avila 1999). L'article utilise les informations de deux stations très proches, situées dans la vallée de l'Adour : le

poste du CNES (79m) a effectué des relevés de 1971 à 1990, le poste de Bellevue (84m) lui a succédé en 1991 rendant possible calcul des normales (1971-2000) par l'auteur. Le poste de Bellevue est équipé d'une station automatique ainsi que le nouveau poste du CNES depuis 2002.

Fig. 1 : Cartes de situation



1.2 Une canicule exceptionnelle tant par la durée que par l'intensité

Fig. 2 : Moyennes thermiques et précipitations à Aire/Adour/Bellevue 2003 et normales 1971-2000

	Mars	avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Bilan
Moy. mois 2003	11,9°	13,4°	15,5°	23,1°	22,4°	25,6°	19,0°	18,7
1971-2000	9,5°	11,5°	15,1°	18,5°	20,9°	20,9°	18,0°	16,3°
Max. abs. 2003	23,5°	27,0°	32,6°	38,5°	37,4°	41,5°	32,5°	41,5°
Records 1971-00	28,4°	29,0°	34,2°	36,6°	39,8°	38,4°	35,5°	39,8°
Nbre max. $\geq 25^\circ$	0	2	7	22	26	31	14	100
Nbre max. $\geq 30^\circ$	0	0	3	12	13	23	6	56
Nbre max. $\geq 35^\circ$	0	0	0	3	2	13	0	18
Pmm 2003	59,5	40,5	62,5	36	41	18,5	89	347
% normale	81%	48%	65%	52%	76%	25%	131%	68%

Fig. 3 : Aire/Bellevue 2003 : nombre de jours $\geq 25^\circ$, $\geq 30^\circ$ et $\geq 35^\circ$

Max. \geq	25°	30°	35°	40°
Année 2003	104	56	18	2
Normale	77	22	2	0

Chaleur et faible pluviosité ont débuté en mars, culminant en juin, juillet et août.

Les minima mensuels moyens sont très élevés en juin : (+ 4,2°) et en août (+3,6°, six minima $\geq 20^\circ$: 23,2° le 14/08 Aire/Bellevue). Mais ce sont les maxima mensuels moyens qui ont les plus grands excédents : + 4,8° en juin et + 6,4° en août.

Les maxima quotidiens ont dépassé 25° pendant 46 jours consécutifs (17 juillet-31 août). La période 3-13 août 2003 (11 jours consécutifs à plus de 35°) a 38,4° comme maxima moyens et 19,3° comme minima moyens.

Le 4 août 2003 est le jour le plus chaud : absence totale de nuages, vent faible (moins de 4m/s) orienté sud-est et sud, sols desséchés, prairies grillées, humidité relative très basse (13% à 16h) dans une région où elle est habituellement élevée. La situation est quasi identique le 12 août (39,8°) et le 13 août (40,2°).

Fig. 4 : Température et humidité relative (poste du CNES)

utc	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h
T°	25,1°	29,5°	33,2°	36,4°	38,3°	39,7°	40,5°	41,5°	39,9°	39,2°	37,8°	31,7°
HR	61%	48%	41%	31%	26%	21%	20%	15%	13%	16%	20%	29%

2. Canicule, sécheresse et activité agricole

2.1. Situations diverses pour la maïsiculture

La sécheresse a sévi durant les trois mois d'été (47% des précipitations normales), du 16 juillet au 31 août il n'est tombé que 25mm (Aire/Bellevue).

Le rendement moyen dans les Landes en 2003 (Sud-Ouest, 2/01/2004) pour le maïs grain en 2003 n'est que de 76 quintaux/ha (70% du record de 2002 : 106qx/ha). Les rendements vont de 15qx/ha pour le maïs non irrigué à 144 quintaux pour le maïs irrigué dans les clairières landaises. Maïs doux et maïs semence qui ont également souffert, ont été en partie ensilés pour la nourriture animale.

Interrogés par l'auteur (Saint-Agnet, Urgons, Aire/Adour, Duhort-Bachen en région aturine et Sore en Haute Lande sableuse), des maïsiculteurs confirment :

- maïs non irrigués : chute importante des rendements (30 à 40%, parfois 80%), variable suivant la nature des sols plus ou moins apte à retenir l'eau. Des indemnités sont octroyées aux maïsiculteurs dont les rendements à l'hectare ont été inférieurs à 52 quintaux/ha (Sud-Ouest 4/02/2004) ;

- maïs irrigués : baisse très limitée (5 à 15%), due parfois au manque d'eau (restriction des arrosages) ou à la trop forte chaleur en période de fécondation. Un agriculteur de la "haute lande" sableuse annonce même des rendements exceptionnels : 134 quintaux contre 117 en 2002 (été pluvieux et frais) et 128/130 en année normale ;

- la récolte est extrêmement précoce (entre 40 et 25 jours d'avance).

Commentaire de M. Doreilh, (Saint-Agnet,) : "La précocité n'est pas seulement due à la canicule estivale mais aussi à des conditions idéales pour effectuer des semis précoces (14-18 avril soit 15 à 20 jours sur une année normale) grâce à la faible pluviosité (dans ces terres limoneuses lourdes, les pluies abondantes du printemps sont souvent une gêne sérieuse) qui règne depuis février et au temps chaud et relativement sec du mois d'avril. Les conditions exceptionnelles début mai (temps chaud avec des pluies, suffisantes mais pas excessives) ont entraîné une croissance très rapide des plantes. L'épisode de forte chaleur de la fin mai a accéléré encore la croissance. La chaleur exceptionnelle de juin, avec quelques orages a provoqué une floraison très précoce (1^{er}-15 juillet). Les plantes ont pu résister à la forte chaleur de juillet grâce à une implantation racinaire précoce permettant de mobiliser l'eau du sol. La canicule du 1^{er} au 15 août a entraîné un dessèchement des plantes. On aurait pu récolter dès le 15 août mais les organismes de stockage étaient fermés (congé estival). Au 2 septembre 2003, le maïs est récolté avec 21% d'humidité contre 30% habituellement".

2.2 Lourd préjudice...

...pour les légumes de pleins champs (petits pois, haricots - conserverie à Cazères/Adour), pour les pâturages (achat d'aliments dont le prix est en hausse). Dans les élevages industriels, il y a eu une forte mortalité des canards gras (chaleur excessive).

2.3. Vendanges précoces (Tursan, Chalosse, Armagnac et Madiran)

"Les vignes sont hautes et en pleine santé, regorgeant de grains petits mais bien remplis, aucune trace de pourriture, jus sucré.. D'un point de vue sanitaire on ne peut faire mieux, on n'a pas traité depuis le 15 juillet... Le degré est élevé cette année (11,5° -12,5° voir 13°), la maturation est optimale, l'acidité très basse, les vins sont parfumés, goûteux.. l'année s'annonce très prometteuse pour la qualité" (Sud-Ouest 23/08/2003). Les vendanges commencent le 15 août pour les raisins blancs et début septembre pour le raisin noir en Tursan (Sud-Ouest 3/09/2003). En Madiran (témoignage de M. Dartigues à Maumusson, recueilli par l'auteur) les vendanges ont commencé le 10 septembre, ce qui est très précoce mais pas un record. On a vendangé plus tôt (selon ses archives personnelles) lors de trois étés exceptionnels : 5 septembre en 1945, 2 septembre en 1947 et 30 août en 1949 (forte chaleur dès la mi-avril ces trois années-là). La cave de Crouzeilles en Madiran annonce un excellent millésime mais aussi une forte baisse (-20%) de la production (Sud-Ouest 30/09/2003).

Conclusion

La canicule et la sécheresse posent le problème de la maîtrise de l'eau dans une région où la maïsiculture est très exigeante en irrigation. Les mesures de *restriction de l'arrosage ont été inefficaces, il est nécessaire de réexaminer le plan de crise* (le 1/09/2003 le débit de l'Adour, à Aire, est inférieur à 2m³/s malgré les lâchers d'eau des lacs collinaires). La course aux rendements exige sans cesse de nouveaux investissements comme la création de nouveaux lacs de retenue sur les cours d'eau : le lac de retenue de Gardères-Eslourenties (20 millions de m³) sur le Gabas, qui aurait dû être achevé avant l'été 2003, à pris du retard. La chambre d'agriculture des Landes estime "la baisse du revenu agricole à 21% par rapport à 2002" (Sud-Ouest 2/01/2004). Les agriculteurs qui ont dépassé leur quota de prélèvements (1500m³ à l'hectare) ont été lourdement pénalisés par "l'Institution Adour" (Sud-Ouest, 27/02/ 2004).

Références bibliographiques et sources

AVILA F. ET M., 1991, *Tursan et Chalosse orientale*, Avila éditeurs, Dax, 1991, 207 p.

AVILA M., 1998, *Sécheresse dans le moyen-Adour*, TER, Bordeaux III, 212 p.

AVILA F., 1986, *Les grands étés dans le Sud-Ouest*" PAE Lycée Gaston Crampe, 77 p.

AVILA F., 1999, *Recherche sur les topoclimats thermiques en relief peu contrasté : Moyen-Adour et forêt landaise, thèse*, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 327 p.

MÉTÉO-FRANCE, 2003, *Autan*, bulletins climatologiques mensuels du Sud-Ouest.

MÉTÉO-FRANCE, 2003, Archives site meteocentre.com/toulouse

SUD-OUEST, 2003 et 2004, éditions Landes et Gers.

VIGNEAU J.P., 1990 – L'autre midi : réflexions sur les aspects et le fonctionnement climatique du Sud-Ouest, *Revue de Géographie de Lyon*, volume 65, 2 p. 129-137.

**L'« ARIDIFICATION DU PAYSAGE » EN AFRIQUE DE L'OUEST
À L'Holocène RÉCENT.
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET/OU ACTION ANTHROPIQUE ?**

A. Ballouche

Géophen, UMR LETG CNRS-6554, UFR de géographie
Université de Caen Basse-Normandie
e-mail : ballouche@geo.unicaen.fr

Résumé : L'histoire des paléoenvironnements végétaux de l'Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne est confrontée aux variations climatiques de l'Holocène récent et à l'histoire des activités anthropiques. Les processus d'« aridification du paysage » semblent résulter de combinaisons entre ces facteurs.

Mots-clés : Paléoclimat, Paysage, Holocène, Afrique de l'Ouest.

Abstract: The history of the soudano-sahelian west-African palaeoenvironments is confronted to climatic changes, settlement history and land use in the late Holocene. The "Landscape aridification" processes appear as results of the combination of these closely linked factors.

Key-words: Palaeoclimate, Landscape, Holocene, West Africa.

Introduction

Les différentes approches paléoenvironnementales ont pour tâche de reconstituer l'histoire de l'environnement, dont les paysages végétaux, et d'en décoder les facteurs explicatifs. Dans les régions tropicales sèches, de l'Afrique de l'Ouest, les dynamiques régressives du couvert végétal à l'échelle des trois à quatre derniers millénaires posent de nombreuses questions en termes d'interprétation du milieu et de son fonctionnement. Le recul des formations forestières, boisées ou mixtes, leurs transformations qualitatives au profit de formations ouvertes et xérophiles, entraînant dégradation du bilan hydrique, déstabilisation des sols et de multiples processus d'érosion, correspondent à ce qu'il est convenu d'appeler une « aridification du paysage ». Cette notion fait couramment référence à des ruptures climatiques enregistrées dans le Quaternaire et dont la valeur est généralement considérée comme globale. Dans l'Holocène récent, les processus sont plus complexes et les facteurs liés à différentes pratiques anthropiques peuvent devenir prédominants, avec des manifestations environnementales comparables à celles de l'aridification climatique. Il convient donc de distinguer des indicateurs spécifiques des effets du climat et de ceux de l'anthropisation, et de les hiérarchiser, pour en déterminer les parts respectives ou les combinaisons.

1. Des paysages

Cet exercice se révèle particulièrement intéressant à propos de l'histoire de la végétation des derniers millénaires en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne, marquée par de nettes ruptures paysagères. Ainsi, sur le Biu Plateau au Nigeria, par 10°33' N, Salzmann *et al.* (2002), situent cette rupture vers 3800 ans [non cal.] BP avec un recul rapide des éléments floristiques guinéens et leur remplacement par une savane soudanienne avec quelques éléments sahéliens. Sur le Plateau dogon malien, c'est

postérieurement à 3500 ans BP qu'apparaissent dans un contexte de savane jusque là franchement soudanienne, des éléments à affinités sahéliennes, comme *Bauhinia*, *Guiera* et *Combretum* cfr *micrantum* (Huysecom *et al.* 2004). La chaîne de Gobnangou au sud-est du Burkina Faso aurait connu une histoire parallèle sinon comparable (Ballouche *et al.* 1993, Frank *et al.* 2001). Au Sahel, la transformation paysagère majeure, qui voit l'installation des formations végétales typiquement sahéliennes, est mise en évidence autour de 3300 BP dans les Manga Plains au nord du Nigéria (Salzmann & Waller 1998) et autour de 3000 BP à Oursi au Burkina Faso (Ballouche & Neumann 1995). C'est à une période légèrement plus tardive que l'on assiste au recul des couvertures forestières en Afrique centrale : il semble grossièrement se situer entre 3000 BP, voire 2800 BP, et 2500 BP (Maley 2001). C'est enfin au Sénégal (Lac de Guiers et Niayes) que ces changements semblent les plus tardifs, vers 2000 BP (Lézine 1989). Tous ces éléments, même s'ils ne sont pas parfaitement contemporains, montrent au cours du IV^e millénaire BP, une même tendance à l'« aridification des paysages ». Quelque soit la zone écoclimatique concernée les végétations sont remplacées à cette époque par d'autres moins exigeantes sur le plan hydrique. Cette évolution est d'autant plus remarquable qu'elle fait suite à une période optimale pour la végétation à l'Holocène moyen (Lézine 1989, Ballouche & Neumann 1995, Salzmann *et al.* 2002, Ballouche 2002).

2. Des climats

Parallèlement, de plus en plus d'éléments (sédimentologie et géochimie, niveaux lacustres, dynamique éolienne, biocénoses) documentent un changement climatique vers la sécheresse au cours de ce IV^e millénaire BP. Un « événement 4000 », global, auquel certains auteurs ont cru pouvoir faire appel, ne nous semble pas avoir de réalité en Afrique de l'Ouest. D'après deMenocal *et al.* (2000), une rupture climatique abrupte serait notée dès 4800 ans BP au large du Sahara ; mais sur le continent elle se manifeste surtout 1000 ans plus tard. Le lac Tilla au Nigeria enregistre une baisse de niveau à 3800 ans BP (Salzmann *et al.* 2002), de même que le lac Bosumtwi au Ghana voit un changement sédimentaire autour de 3000-3100 ans BP (Russell *et al.* 2003). D'autres indices climatiques sont issus des mares et lacs sahéliens où le fonctionnement hydrologique montre une plus grande tendance à l'assèchement entre 3300 et 3000 ans BP (Ballouche & Neumann 1995, Salzmann & Waller 1998). En Afrique centrale, Maley (2001) fait référence bien moins à des diminutions des quantités de précipitations qu'à des changements dans leur répartition annuelle. Il ne fait donc pas de doute que cette époque est marquée par un changement climatique majeur qui n'a pas manqué de fragiliser les milieux et transformer durablement les formations végétales.

3. Des sociétés

Opportunément, à la même période, les indices d'une emprise grandissante des hommes sur leur milieu semblent s'amplifier. De multiples pratiques agro-pastorales en maintes régions soudano-sahéliennes sont désormais bien renseignées. Il est toujours difficile de mettre en évidence l'impact de pratiques pastorales, mais l'agriculture est mieux documentée. C'est en particulier au cours du IV^e millénaire BP (II^e-I^e millénaire av. J.C.) qu'apparaît la culture du mil (*Pennisetum glaucum*) dans des sites tant sahariens et sahéliens en Mauritanie à Dhar Tichitt, au Burkina Faso dans l'Oudalan ou au NE du Nigeria (Kursakata), que soudaniens, à Birimi dans le nord du Ghana (Amblard 1996, Ballouche & Neumann 1995, Neumann 1999, D'Andrea *et al.* 2001). A cette époque, se développent aussi plus au sud les mêmes processus de domestication, impliquant cette fois le palmier à huile (Sowunmi 1999).

Un dernier facteur nous semble déterminant dans l'évolution des paysages végétaux ouest-africains au cours des derniers millénaires : ce sont les feux de brousse (Ballouche 2002). Nous avons mis en évidence leur régularité dès l'Holocène moyen sur le Plateau Dogon (Huysecom *et al.* 2004), mais d'autres sites les enregistrent aussi à cette époque (Schulz & Pomel 1992, Salzmann & Waller 1998, Salzmann *et al.* 2002). Pour nous, la régularité des feux et leur fréquence annuelle sont probablement d'origine anthropique. Ce phénomène est surtout évident à partir du IV^e millénaire BP, dans des régions où nous avons parallèlement des témoignages d'occupation humaine.

Conclusion

Il s'agit alors de confronter ces différentes informations afin de montrer comment les ruptures climatiques de cette période et les tentatives de maîtrise des milieux par les sociétés préhistoriques se conjuguent pour forger progressivement les paysages culturels des savanes ouest-africaines. On peut discuter de la prédominance de l'un ou l'autre de ces facteurs dans les processus d'« aridification des paysages » mais leur conjonction est frappante. L'impact paysager des feux, par exemple, relève d'un authentique processus d'interface nature/société qui exige pour s'accomplir la combinaison de facteurs climatiques et anthropiques. On peut parler d'une « domestication » des paysages, qui réaménage, accentue ou oriente l'impact du climat. C'est pourquoi nous pouvons écrire que ces paysages ouest-africains constituent ainsi une production combinée de l'histoire du climat et de celle des sociétés.

Références bibliographiques

- AMBLARD S. (1996) - Agricultural evidence and its interpretation on the Dhars Tichitt and Oualata, south-eastern Mauritania. In: Pwiti G. & R. Soper (Eds), *Aspects of African Archaeology, Proceedings of the X^o Congress, P.A.P.R.S.*, Harare: 421-427.
- BALLOUCHE A. (2002) - Histoire des paysages végétaux et mémoire des sociétés dans les savanes ouest-africaines. *Historiens et géographes*. 381 : 379-388.
- BALLOUCHE A., KÜPPERS K., NEUMANN K. & WOTZKA H.-P. (1993) - Aspects de l'occupation humaine et de l'histoire de la végétation au cours de l'Holocène dans la région de la Chaîne de Gobnangou, S.E. Burkina Faso. *Berichte des Frankfurter Sonderforschungsbereiches 268*, 1 : 13-31.
- BALLOUCHE A. & NEUMANN K. (1995) - A new contribution to the Holocene vegetation history of the West African Sahel: pollen from Oursi/Burkina Faso and charcoal from three sites in NE Nigeria. *Veget. Hist. Archaeobot.*, IV (1) : 31-39.
- D'ANDREA A.C., KLEE M. & CASEY J. (2001) - Archaeobotanical evidence for pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in sub-Saharan West Africa. *Antiquity*, 75: 341-348.
- deMENOCA P., ORTIZ J., GUILDERTON T., ADKINS J., SARNTHEIN M., BAKER L. & YARUSINSKY M. (2000) - Abrupt onset and termination of the African humid period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Sci. Rev.*, 19 : 347-361.
- FRANK T., BREUNIG P., MÜLLER-HAUDE P., VAN NEER W., NEUMANN K., VOGELSANG R. & WOTZKA H.-P. (2001) - The Chaîne de Gobnangou, SE Burkina Faso: archaeological, archaeobotanical, archaeozoological and geomorphological studies. - *Beitr. Allg. Vergl. Arch.* 21 : 127-190.
- HUYSECOM E., OZAINNE S., RAEI F., BALLOUCHE A., RASSE M. & STOKES S. (2004) - Ounjougou (Mali): A history of Holocene settlement at the southern edge of the Sahara. *Antiquity*, 78 (300).
- LÉZINE A.M. (1989) - Late Quaternary vegetation and climate of the Sahel. *Quat. Res.*, 2 : 317-334.
- MALEY J. (2001) - La destruction catastrophique des forêts d'Afrique centrale survenue il y a environ 2500 ans exerce encore une influence majeure sur la répartition actuelle des formations végétales. *Syst. Geogr. Pl.*, 71 : 777-796.
- NEUMANN K. (1999) - Early plant food production in the West African Sahel- new evidence from the Frankfurt project. In : van der Veen (ed.) *The exploitation of plant resources in ancient Africa*. Kluwer Acad., New York.
- RUSSELL J., TALBOT M.R. & HASKELL B.J. (2003) - Mid-holocene climate change in Lake Bosumtwi, Ghana. *Quat. Res.*, 60 : 133-141
- SALZMANN U., HOELZMANN P. & MORCZINECK I. (2002) - Late Quaternary Climate and Vegetation of the Sudanian zone of NE-Nigeria. *Quat. Res.* 58 : 73-83.
- SALZMANN U. & WALLER M. (1998) - The Holocene vegetational history of the Nigerian Sahel based on multiple pollen profiles. *Rev. Palaeobot. Palyn.*, 100 : 39-72.
- SCHULZ E. & POMEL S. (1992) - Die anthropogene Entstehung des Sahel. *Würzburg. Geogr. Arbeiten*, 84 : 263-288.
- SOWUNMI M.A. (1999) - The significance of the oil palm (*Elaeis guineensis*) in the Late Holocene environments of west and west central Africa : a further consideration. *Veget. Hist. Archaeobot.*, VIII : 199-210.

CIRCULATIONS MÉRIDIENNES ET EXTRÊMES PLUVIO-THERMIQUES EN TUNISIE

*Z. Benzarti**, *H. Ben Boubaker ** et *L. Henia***

Faculté des Lettres - Université de Manouba*

Université de Tunis**

e-mail : habib.boubaker@flm.rnu.tn

Résumé : Le climat méditerranéen est très variable. En Tunisie, les valeurs pluvio-thermiques extrêmes sont en rapport avec des types de situations atmosphériques particulières. Il s'agit de celles dominées par une circulation méridienne, mettant la Tunisie sous l'influence prolongée de vallées froides ou de crêtes chaudes.

Mots clés : Pluie, Températures extrêmes, froid, chaleur, sécheresse, inondations, circulation atmosphérique méridienne.

Abstract: The mediterranean climate is very variable. In Tunisia, the climatic extreme parameters depend on meridian atmospheric circulation.

Keys words: Exceptional rain, extreme temperature, coldness, warmth, dryness, floodings, meridian atmospheric circulation

Introduction

Dans le cadre de la variabilité de son climat, la Tunisie connaît des situations pluvio-thermiques extrêmes. Des séquences thermiques extrêmes, hiver particulièrement froid ou été très chaud, des événements pluvieux remarquables provoquant inondations et dégâts matériels et humains ou des sécheresses sévères jalonnent l'histoire du climat de la Tunisie. Ces extrêmes climatiques sont engendrés par une circulation atmosphérique méridienne, mettant la Tunisie sous l'influence prolongée de vallées froides ou de crêtes chaudes.

1. Données et méthodes

Pour l'étude des situations thermiques extrêmes nous avons considéré les températures maximales (Tx) et les températures minimales (Tn) quotidiennes de dix stations principales représentatives des différentes régions géographiques de la Tunisie. Pour les événements pluviométriques exceptionnels, nous avons retenu les séries pluviométriques mensuelles et journalières de vingt stations bien réparties à travers le territoire tunisien. L'étude dynamique est fondée sur une analyse des cartes météorologiques tunisiennes et européennes. La période de référence s'étend de 1970 à 2002.

Notre souci est de détecter les situations de pluies et de températures extrêmes sur la Tunisie et de caractériser les types de circulation correspondants.

Pour l'étude des situations de forte chaleur, nous avons considéré les mois de juin, juillet, août et septembre et nous avons retenu les mois de décembre, janvier, février et mars pour les situations de

froid intense. Nous avons d'abord calculé les températures maximales et minimales moyennes de ces mois, ensuite l'écart thermique quotidien par rapport à la moyenne du mois correspondant. Ainsi, pour chaque mois, le nombre d'indicateurs thermiques journaliers s'élève à quatre (Tx et Tn mesurées et écart à la moyenne des Tx et des Tn). Nous avons ensuite classé les valeurs de chaque indicateur par ordre croissant, ce qui nous a permis de sélectionner les 10% des journées qui s'avèrent les plus chaudes ou les plus froides. Nous avons procédé ensuite à l'élimination des situations de températures extrêmes isolées, qui ne se manifestent que localement (pour une seule station ou une seule région de la Tunisie), pour ne garder que les cas où l'excès de température se manifeste quasiment pour toutes les stations.

Pour dégager les situations pluviométriques exceptionnelles, nous avons adopté la méthode de l'analyse fréquentielle qui considère comme années très humides celles dont la fréquence au non dépassement est supérieure à 85 %. Les années sèches sont celles où la fréquence au non dépassement est inférieure à 15%. La sélection s'est faite à l'échelle annuelle et à l'échelle mensuelle.

Les situations pluvio-thermiques extrêmes ainsi dégagées sont confrontées aux situations atmosphériques correspondantes.

2. Résultats

Les situations validées témoignent de l'intensité de la chaleur et du froid qui peuvent être véhiculés par des circulations méridiennes sur la Tunisie. Les températures extrêmes observées atteignent un écart à la normale de 5 à 16°C au cours des mois de l'été (tab. 1) et de 4 à 8° en hiver (tab. 2). Celles du 28 juin 1998 illustrent un exemple de chaleur généralisée ayant touché la Tunisie (tab. 3 et fig. 1) et celles du 3 février un exemple de froid intense (tab. 3 et fig. 2).

Tab. 1 : Ecart à la moyenne des températures maximales quotidiennes (Tx) observées entre 1970 et 2002 par types de circulation méridienne

	juin	juillet	août	septembre
Tunis	+ 5,9 à +15,6°	+6,1 à 13,9	+5,5 à 13,3	+5,5 à 14,3
Kairouan	+6,4 à +13,3°	+6,6 à 10,9	+6,3 à 11,2	+5,8 à 11,3
Gafsa	+6,8 à +11,8°	+5,8 à 9	+5,4 à 8,5	+5,8 à 10,5

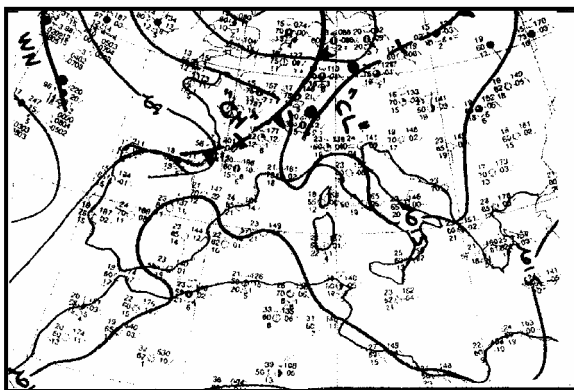
Tab. 2 : Ecart à la moyenne des températures minimales quotidiennes (Tn) observées entre 1970 et 2002 par types de circulation méridienne

Station	décembre	janvier	février	mars
Tunis	-4,5 à -6,9	-4.2 à -8.7	-4.2 à -7.7	-4.3 à -7
Kairouan	-4.9 à -7.6	-4.4 à -7.8	-4 à -6.8	-4.2 à -7.5
Gafsa	-4.7 à -7.9	-4.6 à -7.5	-4.3 à -7.7	-4.5 à -7.5

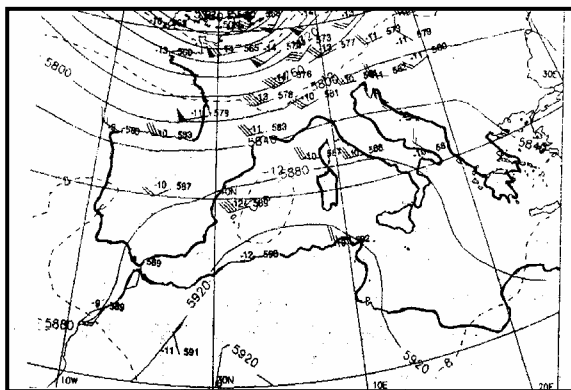
Tab. 3 : Exemples de situations de chaleur et de froid exceptionnels

Station	T° observées le 28 juin 1998		Ecart à la moyenne du mois		T° observées le 3 février 1999		Ecart à la moyenne du mois	
	Tx	Tn	Tx	Tn	Tn	Tx	Tn	Tx
Tunis	42,3	22,3	+12,7	+4,7	3,2	13	-4,2	-3,5
Kairouan	44,5	24,4	+10,9	+5,7	0,6	11,7	-6,4	-6,5
Gafsa	43,7	24,5	+9,4	+5,2	-1,9	9,9	-7,2	-7,2

Fig. 1 : Situation atmosphérique générant une vague de chaleur sur la Tunisie (28-6-1998)



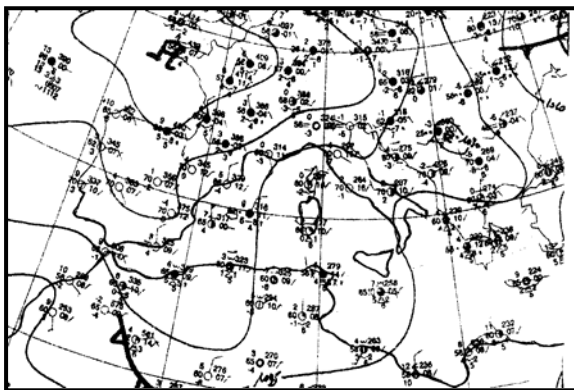
Situation en surface à 00h00 UTC



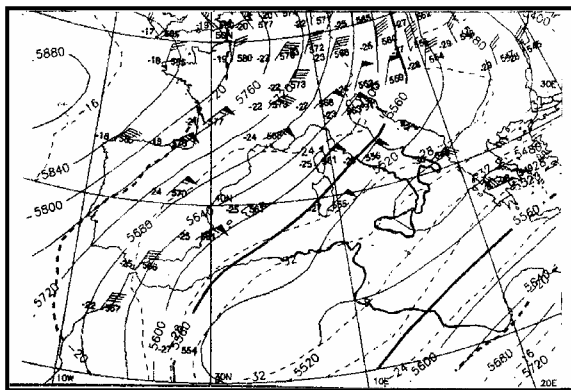
Situation en altitude (500 hPa) à 00h00 UTC

Fig. 2 : Situation atmosphérique générant une vague de froid sur la Tunisie (3-2-1999)

Situation en surface à 00h00 UTC



Situation en altitude (500 hPa) à 00h00 UTC



Les fortes pluies se manifestent plutôt à l'échelle régionale et surtout locale. Au cours de la période examinée, les événements extrêmes ont intéressé soit le nord soit le centre et le sud-est du pays.

Les événements les plus remarquables ont eu lieu au cours de l'année 1971, 1973 1975, 1982, 1990 1995 et le plus récent au cours de l'automne 2003. Le tableau 4 donne une idée sur l'ampleur de ces événements.

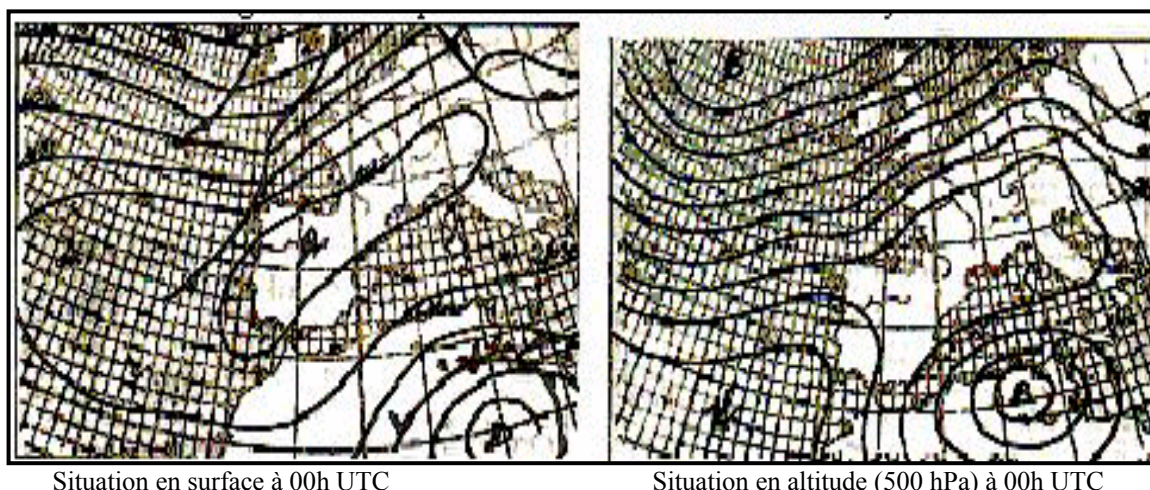
Tab. 4 : Exemple d'évènements pluviométriques exceptionnels

Mars 1973			Octobre 1982			Janvier 1990			Fevrier 1996		
Stations	P**	R/N*	Stations	P**	R/N*	Stations	P**	R/N*	Stations	P**	R/N*
Tunis	180	3..8	Tunis	123	2.3	Gafsa	263	14.2	Tunis	172	3.2
ADraham	543	3.1	Grombalia	157	2.4	SBZid	185	14.2	ADraham	427	2.2
Bizerte	184	3.3	Zaghouan	269	4.2	Tozeur	135	10.1	Bizerte	251	3.1
Jendouba	186	3.7	Mahdia	265	3.9	Kébili	139	10	Jendouba	138	2.6
Beja	262	4.1	Sfax	234	4.4	Gabès	219	10.5	Beja	238	2.9
Kelibia	111	2.1	Sousse	190	3.8	Zarzis	261	9.3	Kelibia	245	4.3

R/N* : Rapport à la normale du mois P** : total pluviométrique du mois

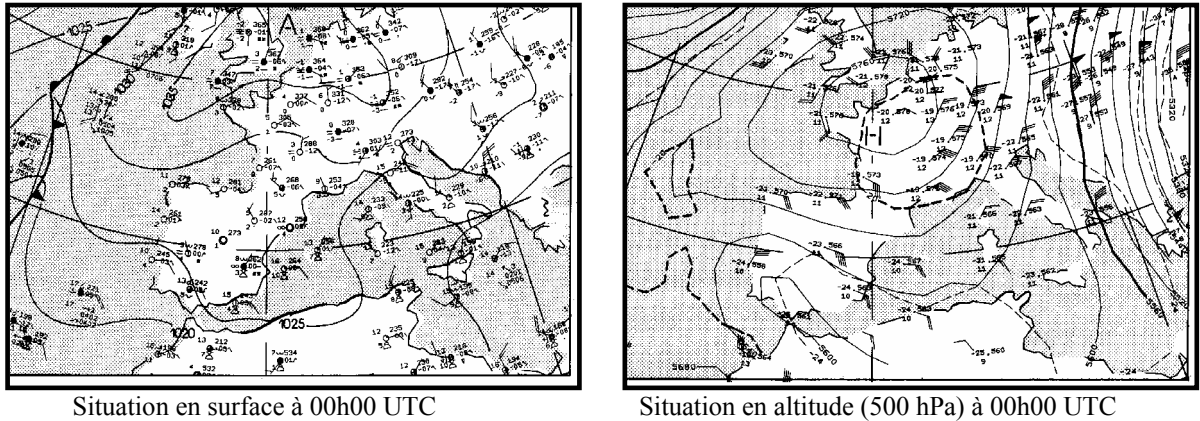
Ces événements sont tous générés par des circulations méridiennes persistantes sur la Tunisie. En altitude, la situation se caractérise par une vallée où une goutte froide couvrant le pays. Deux cas peuvent se présenter : dans le premier cas, la vallée aborde la Tunisie par le nord-est. Les fortes pluies intéressent alors la Tunisie orientale (fig. 3) et il s'agit des situations de retour d'est (Hénia L. et Melki T., 2000). Dans le deuxième cas, la vallée aborde la Tunisie par le nord. L'excès pluviométrique intéresse par contre la partie septentrionale du pays (Kassab F. 1979).

Fig. 3 : Situation de retour d'est générant de fortes pluies sur la Tunisie le 22-1-1990



Contrairement aux fortes pluies, les situations de sécheresse sévère prennent un caractère général. Au cours de la période étudiée, elles ont marqué les années 1987-1988, 1993-1994 et 1996-1997. Ce sont des années marquées par la prédominance de circulations méridiennes mettant la Tunisie sous l'influence d'une crête chaude (Hénia L. 2003) (fig. 4).

Fig. 4 : Situation atmosphérique générant une sécheresse sur la Tunisie le 30-1-1992



Conclusion

En Tunisie, le climat se caractérise par une alternance d'évènements climatiques excessifs séparés par des situations intermédiaires normales plus ou moins prolongées. La circulation méridienne responsable de ces extrêmes se différencie par la latitude et la longitude de la vallée et de la crête qui touchent la Tunisie. Ce type de circulation sur la Tunisie est à mettre en rapport avec la circulation à une échelle beaucoup plus large et notamment avec l'oscillation nord atlantique.

Références bibliographiques

- BEN BOUBAKER H. (2000) : *Les gradients climatiques en Tunisie*. Publication de la Faculté des Lettres de Manouba, 324 p.
- BENZARTI Z. (2003) : *La pluviométrie en Tunisie Analyse des années très pluvieuses*. Eau et Environnement Tunisie et milieux méditerranéens ENS Editions.
- BENZARTI Z. et GHORBEL A. (1991) : *Les précipitations et les crues exceptionnelles du 21 au 23 janvier 1990 dans le sud-ouest tunisien*. in Revue des Ressources en Eau de Tunisie n°12 -Direction Générale des Ressources en Eau - Ministère de l'Agriculture.
- HENIA L. MELKI T. (2001) : *Circulation de retour d'est et pluies diluviennes sur la Tunisie orientale*. Publication de l'A.I.C. Vol 13 p.120 -127
- HENIA L. (2003) : *Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire*. Eau et Environnement: Tunisie et milieux méditerranéens ENS Edit. p.26-36
- KASSAB, F. (1979) : *Les très fortes pluies en Tunisie*. Publication de l'Université de Tunis , 234 p.
- Ministère de l'Agriculture : *Annuaire pluviométrique de la Tunisie (1970 à 2002)*

APPROCHE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DE SES TRANSITIONS DANS LES ALPES DU SUD

M. Berthelot¹ et A. Génin²

¹ UMR Citeres 6173, équipe V.S.T, groupe de recherche Dynamiques Environnementales et Paysagères, Maison des Sciences de la Ville, Tours
e-mail : berthelot.michael@laposte.net

² UMR Citeres 6173, équipe V.S.T, groupe de recherche Dynamiques Environnementales et Paysagères, Université de Tours, UFR Droit, Sciences économiques et sociales, Tours
e-mail : alain.genin@univ-tours.fr

Résumé : Plusieurs analyses sont présentées, susceptibles de fournir une aide pour l'approche spatiale de la variation régionale climatique des Alpes du Sud : analyses en composantes principales effectuées sur les précipitations à l'échelle mensuelle et quotidienne et mises en relation avec les types de temps ; autres analyses réalisées le long d'un transect ouest-est.

Mots clés : transition, continu / discontinu, variabilité, statistique multidimensionnelle

Abstract : Some analyses are presented and are liable to give an aid to the spatial variability of the climate in the French Southern Alps : component analysis of mean monthly and diary rainfall are conducted in parallel with the general circulations ; others analyses are made along a transect from west to east.

Key-words : transition, continuity / discontinuity, variability, multidimensional statistics

Introduction

Par leur situation au carrefour de nombreuses influences climatiques et par la disposition et l'importance du relief, les Alpes méridionales ont déjà donné lieu à plusieurs études sur la variation régionale climatique. Les résultats synthétiques présentés permettent l'application de nouvelles méthodes dans le but de donner une dimension spatiale plus significative aux résultats obtenus. Dans une première partie, on associe à l'interprétation spatiale des précipitations, les types de temps selon deux classifications. Un second travail plus analytique examine la variabilité des précipitations mais aussi des températures le long d'un transect ouest-est.

1. Variabilité spatiale des précipitations et types de temps

1.1 La répartition spatiale des précipitations

La cartographie issue de l'interpolation spatiale (krigeage, AURELHY) est la méthode de visualisation la plus simple et la plus efficace pour analyser la variabilité des précipitations (fig. 1). Les départements plus humides (notamment les Alpes-Maritimes, mais aussi le Drôme) s'y distinguent des départements plus secs (Vaucluse, Hautes-Alpes dans une moindre mesure), les Alpes-de-Haute-Provence étant un cas plus compliqué où une bande sèche s'intercale entre deux parties plus humides.

Fig. 1 : Précipitations moyennes annuelles 1994-1998, 32 postes

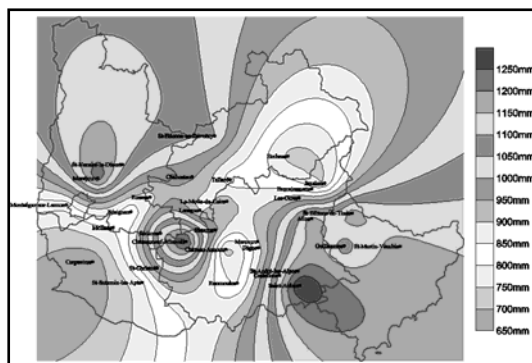
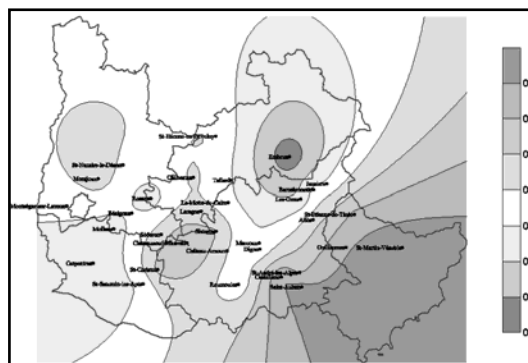


Fig. 2 : Poids factoriels de l'axe 1 32 postes (75 % de l'inertie totale)



Toutefois, l'ACP est aussi une méthode statistique régulièrement employée pour ce type d'analyse (Mizrahi, 1998). Elle permet une interprétation aisée des données issues d'un tableau de grande dimension. Aussi avons-nous réalisé une ACP sur les données quotidiennes de 32 stations pour la période 1994-1998 (fig. 2). En aucun cas cette période n'est représentative des résultats propres aux normales climatiques, mais elle répond au souci d'homogénéité des analyses dont le but final est d'associer les types de temps. La figure 2 issue de cette analyse coïncide avec la figure précédente et conforte les observations sur les variations régionales du climat.

1.2 Classification des postes pluviométriques

Fig. 3 : Résultat de la classification, partition en 5 classes



Les résultats de l'ACP offrent une première approche cohérente qui ne permet cependant pas de réaliser de manière significative une discrétisation des stations afin de regrouper les postes (variables) qui semblent avoir un régime pluviométrique similaire. En, fonction de l'objectif et de l'étendue du

tableau de données, nous avons opté pour la méthode des nuées dynamiques qui s'inscrit dans la famille des classifications autour des centres mobiles (Nakache, Confais, 2000). Si cette méthode présente l'avantage d'offrir une partition cohérente avec des classes homogènes, elle a pour inconvénient général de fixer un nombre de classes au début de la procédure (Lebart L., Morineau A., Piron M. 2000). Après de nombreux essais, nous avons retenu une partition en 5 classes présentant des caractéristiques pluviométriques bien distinctes (fig. 3). C'est dans le département des Alpes-de-Haute-Provence, où les cinq classes sont représentées, que la variabilité climatique spatiale est la plus nette.

1.3 Caractérisation des classes par les types de temps

Il s'agit d'associer aux différentes classes des types de temps pouvant expliquer l'origine des précipitations et la situation météorologique la plus probable. Nous utilisons, d'une part, la classification de P. Bénichou comprenant 10 types par champ, et d'autre part, une classification issue d'observations de cartes météorologiques quotidiennes (Berthelot, 2001) sur le principe de travaux antérieurs (Ronchail, Lecompte, 1981 ; Génin, 1997). Pour chacune, nous retenons la surface 1000 hPa (GEO1000) et 500 hPa (GEO500). Un travail comparatif entre les résultats offerts par les deux bases de données pourrait être entrepris, mais notre objectif est avant tout d'associer les types de temps aux classes (postes de mesure). Différentes méthodes sont mises en œuvre : l'analyse factorielle canonique permet de corrélérer des bases de données mais présente des résultats limités ; l'application de la statistique de Fisher et l'interprétation de la probabilité de corrélation entre les variables nominales (type de temps) et les variables continues (stations) paraissent plus significatives.

2. Evolution spatiale du climat le long d'un transect ouest-est

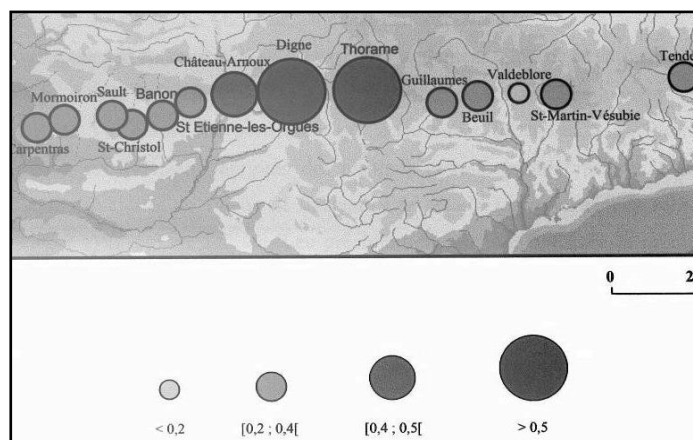
Une recherche à partir des données de 14 postes (précipitations et températures) répartis au long d'un transect large, orienté ouest-est, s'étirant de la vallée du Rhône à la frontière italienne, complète les travaux précédents. Elle est bonifiée par une analyse des amplitudes thermiques. Cet essai d'explication du climat de l'ouest vers l'est est relié avec une interprétation d'un transect floristique allant des Baronnies jusqu'à l'est des Préalpes de Digne.

Une carte des isothermes ne présente guère d'intérêt étant calquée sur le relief. Mais l'analyse des températures met en évidence trois ensembles géographiques au long du transect, les analyses saisonnières des températures suggérant d'intéressants rapprochements. Les plus fortes amplitudes thermiques se situent au niveau de la zone centrale du transect (Préalpes de Digne et environs, de Saint-Christol à Guillaumes). L'analyse pluviométrique individualise les postes à l'est de la Durance (fig. 4).

La multiplicité des angles d'approche permet de cerner de façon claire et nette trois ensembles de l'ouest vers l'est :

- un premier depuis le début occidental du transect jusqu'à l'est du massif du Ventoux ;
- un deuxième, selon un axe orienté nord-sud, correspond à la vallée de la Durance, celle-ci formant une première discontinuité dans la variabilité ouest-est, et à ses contreforts orientaux (les postes représentatifs sont Tallard, Laragne, Digne et Valensole), une seconde rupture s'établissant au niveau de la Montagne de la coupe à l'est de Digne ;
- un troisième ensemble au-delà, à l'est du transect. Au long du transect, la partie centrale des Alpes-de-Haute-Provence présente une tonalité méditerranéenne plus affirmée que dans la partie nord des Alpes-Maritimes mais moindre que dans les Baronnies et une continentalité plus forte que celles de l'est et de l'ouest du transect. Ces bilans tendent à confirmer ceux d'études effectuées sur des aires plus restreintes ou plus vastes (Bouchet, 1998 ; Richard et Tonnel, 1985)

Fig. 4 : ACP des totaux pluviométriques mensuels de 14 postes de la période 1991-2000 : poids factoriels de l'axe 1 (80 % de l'inertie totale)



Conclusion

Les résultats obtenus et la cartographie associée affermissent les recherches récentes sur le climat des Alpes du sud, en apportant toutefois une série de précisions intéressantes, ceci grâce au recoupement des approches et à l'amélioration de certaines techniques statistiques ou cartographiques.

Références bibliographiques

- BERTHELOT M., 2001 ; Climatologie des Alpes du Sud : caractères et analyse dynamique de 1992 à 1999, mémoire de maîtrise, Université François Rabelais, Tours, 183 p.
- BERTHELOT M., 2002 ; Approches statistiques de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans les Alpes du Sud, mémoire de DEA, Université des Sciences et Technologies, Lille, 171 p.
- BOUCHER C., 1998 ; La flore des Alpes-de-Haute-Provence, EDISUD / ADRI, 207 p.
- LE BAIL K., 2003 ; Evolution spatiale du climat dans les Alpes du sud le long d'un transect ouest-est, mémoire de maîtrise, Université François Rabelais, Tours, 192 p.
- GÉNIN A., 1997 ; Les contacts entre domaines phytoclimatiques, exemple de la bordure cévenole, Travaux du Laboratoire de Géographie physique n° 25, 185 p.
- LEBART L., MORINEAU A., PIRON M., 2000 ; Statistique exploratoire multidimensionnelle, Dunod, 439 p.
- MIZRAHI F., 1998 ; Les fortes précipitations dans le Centre-Est de la France, étude de climatologie synoptique, Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 252 p.
- NAKACHE J.P., CONFAIS J., 2000 ; Méthodes de classification, Cisia-Ceresta, 184 p.
- RICHARD L. et TONNEL A., 1985 ; Contribution à l'étude bioclimatique de l'arc alpin, *Doc. Cart. Ecologique*, 28 : 33-64.
- RONCHAIL J., LECOMPTE M., 1981 ; Essai de climatologie dynamique dans les Alpes internes françaises, *La Météorologie*, IIIème série, n°26, Université de Paris VII.

**LE SUIVI DES VARIATIONS CLIMATIQUES ET ÉCOLOGIQUES
EN AFRIQUE DE L'OUEST : LE RÔLE DE LA STATION GÉOPHYSIQUE
ET ÉCOLOGIQUE DE LAMTO (CÔTE D'IVOIRE)**

**S. Bigot¹, J. Oszwald¹, T. Brou Yao², A. Diedhiou³,
A. Konaré⁴, M. Fofana⁵, P. Assamoi⁴**

¹ Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés (LGMA, UMR 8141 CNRS)
Université des Sciences et Technologies de Lille
Email : sylvain.bigot@univ-lille1.fr

² Institut de Géographie Tropicale (IGT)
Université d'Abidjan-Cocody, Abidjan - Côte d'Ivoire

³ Antenne IRD de Niamey (Niger) et Laboratoire
des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE, UMR 5564), Grenoble

⁴ Laboratoire de Physique Atmosphérique (LAPA),
Université d'Abidjan-Cocody, Abidjan - Côte d'Ivoire

⁵ Station Géophysique de Lamto, Lamto - Côte d'Ivoire

Résumé : La station écologique et géophysique de Lamto, située dans le sud du 'V' baoulé, en Côte d'Ivoire, fournit un grand nombre de données météorologiques et écologiques depuis sa création, en 1962. L'étude des séries climatiques révèle une baisse des événements pluvieux depuis la fin des années 1970, ainsi qu'une augmentation des températures et de l'évaporation. Mais, l'écosystème forestier protégé des feux semble pourtant toujours dans une phase de transgression spatiale sur le domaine savanicole.

Abstract: The ecological and geophysical station of Lamto, located in the south of the 'V' baoulé, in Côte d'Ivoire, provides many meteorological and ecological data since its creation, in 1962. The study of the climatic time-series shows a negative trend of the rainy events since the end of the 70', as well as an increase in the temperatures and evaporation. But the forest ecosystem protected from fires however seems always in a positive phase of spatial transgression on the savannah area.

Introduction

Des observations hydrométéorologiques et écologiques à échelles fines sont nécessaires dans l'espace tropical afin d'améliorer les schémas de surface des modèles numériques du climat et de valider les résultats des simulations qui lient la variabilité climatique aux changements d'état de surface de la végétation. Mais à l'échelle du continent ouest-africain, peu de domaines expérimentaux fournissent suffisamment de données géophysiques pour mener ce genre de recherche, surtout en zone guinéenne, avec une mosaïque complexe de milieux savanicoles et forestiers. Il existe cependant régionalement, depuis 1962, l'observatoire écologique et géophysique le plus complet d'Afrique de l'Ouest, avec des observations météorologiques ininterrompues, sans changement de site ou de types d'appareils de mesure. Situé en Côte d'Ivoire, sur le site de Lamto (06°23'28 N - 05°01'40 W, 105 m d'altitude), à 160 Km au nord-ouest d'Abidjan, ce parc instrumental est localisé à l'extrême sud du 'V' baoulé, à la limite biogéographique qui marque la transition entre milieux forestiers et savanicoles (fig. 1). Entouré par 2500 ha de Réserve Nationale, cet espace intégralement protégé n'est pas affecté par l'anthropisation depuis quatre décennies, à l'exception des feux saisonniers.

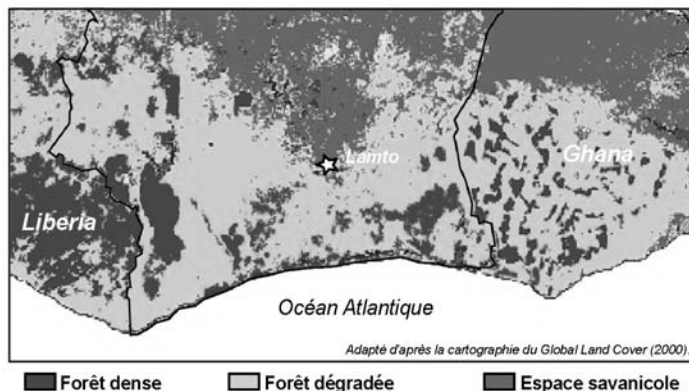


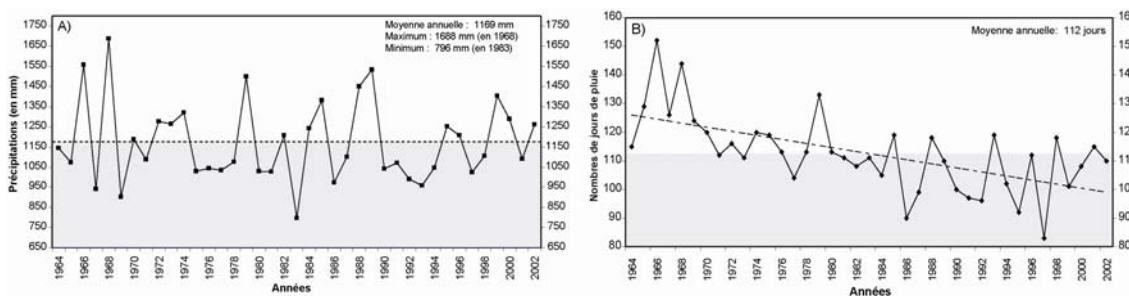
Fig. 1 : Localisation de la station de Lamto, au creux du V Baoulé, en périphérie des espaces forestiers plus ou moins dégradés et des espaces savaniques plus ou moins densément arborés.

Mais malgré la masse de données environnementales accumulées depuis 40 ans à Lamto, ce sont surtout des travaux en écologie végétale et animale qui ont été menés sur l'écotone forêt-savane, sans étude parallèle et complémentaire en climatologie. L'objectif de ce travail est donc de faire le point sur les variations climatiques régionales, en les replaçant dans le contexte des changements observés à l'échelle continentale, mais aussi en relation avec les variations écologiques saisonnières et interannuelles mesurées localement.

1. Diminution des précipitations et augmentation des températures

Tributaire du flux de mousson atlantique et du passage saisonnier de la Zone de Convergence Intertropicale, le climat subéquatorial de la région de Lamto se caractérise surtout par un régime pluviométrique bimodal (la 'grande saison des pluies' en mars-avril-mai, ~ 64% du total annuel, et la 'petite saison des pluies' en septembre-novembre, ~ 21% du total annuel), avec un total annuel moyen de 1169 mm (statistiques calculées sur la période 1964-2002). Alors qu'une grande partie de l'Afrique occidentale a enregistré un changement de stationnarité au cours des décennies 1960 et 1970, la série brute de Lamto ne révèle pas a priori de ruptures significatives évidentes (fig. 2a).

Fig. 2 : Evolution de certaines caractéristiques pluviométriques annuelles à la station de Lamto entre 1964 et 2002 : a) écarts annuels à la moyenne ; b) nombre de jours de pluie.



Une étude plus attentive de certains paramètres à l'échelle intra-saisonnière indique pourtant des modifications majeures. Ainsi, le nombre de jours de pluies annuels s'est fortement réduit à partir du milieu des années 1980, atteignant souvent moins de 100 (fig. 2b). En parallèle, la durée des événements pluvieux a également baissé (figure non montrée). A l'échelle annuelle, les totaux pluviométriques diminuent finalement de seulement 7% sur la période 1964-2002, alors que ce chiffre est souvent plus proche de 20% pour des stations soudano-sahéliennes plus septentrionales (Bigot et al., 2004). Cette baisse régionale des précipitations depuis la fin des années 70 (soit 10 ans après celle enregistrée en zone sahélienne) affecte surtout les saisons sèches (fig. 3), périodes qui ne représentent qu'environ 15% des pluies annuelles mais dont les événements pluvieux sont essentiels pour les écosystèmes savaniques arborés et herbacés.

En effet, à cause de l'absence de réserve hydrique, la croissance végétale en milieu savanicole dépend étroitement de la répartition des événements pluvieux. L'allongement des saisons sèches provoque une augmentation des séquences sans pluie, influençant d'une part fortement la phénologie végétale ainsi que l'intensité et les rythmes saisonniers des incendies.

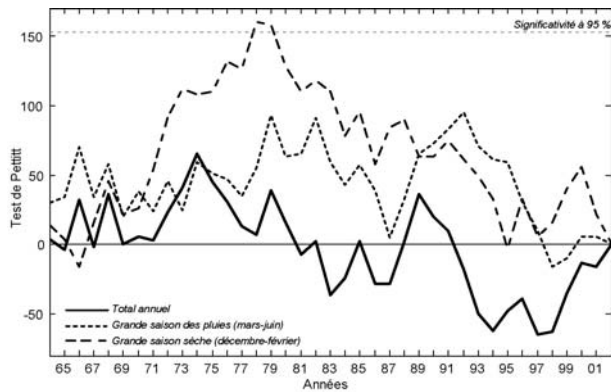
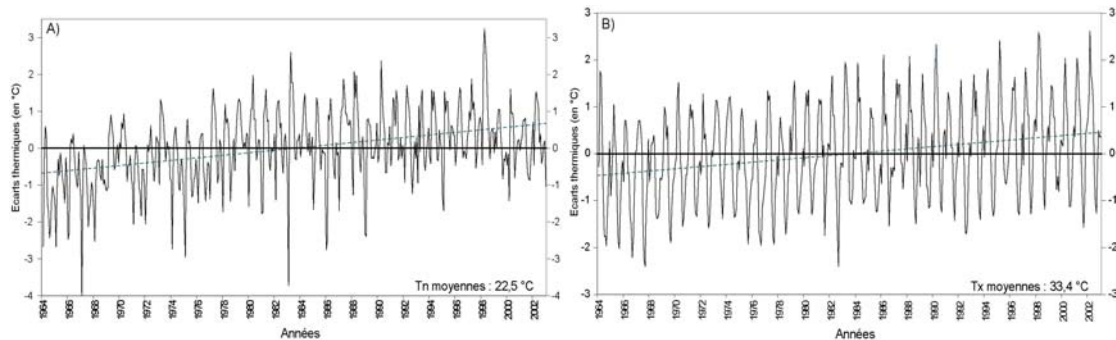


Fig. 3 : Étude de la stationnarité interannuelle des précipitations à Lamto grâce à un test de Pettitt calculé sur les totaux annuels (trait), la grande saison des pluies (pointillés) et la saison sèche (tireté)

L'étude des séries thermiques de Lamto indique également un réchauffement significatif sur la période d'étude (fig. 4).

Fig. 4 : Evolution des températures mensuelles minimales (a) et maximales (b) à la station de Lamto entre 1964 et 2002



Valable aussi bien pour les températures minimales (Tn) que maximales (Tx), cette tendance s'est aussi traduite par une augmentation de l'amplitude thermique quotidienne sur la période 1992-2002 (+ 0,6°C en 40 ans), modifiant les échanges du cycle de l'eau à l'interface sol-atmosphère. L'évaporation a par exemple augmenté de plus de 150 mm (figure non montrée). L'ensemble de ces résultats suggère donc plutôt un contexte bioclimatique défavorable au cours des dernières décennies à l'écosystème régional particulièrement sensible aux variations des facteurs hydrologiques.

2. Un écosystème forestier pourtant en expansion

Malgré ce constat hydroclimatique, l'observation de terrain indique qu'en fait, les parcelles soustraites aux feux dans la réserve de Lamto continuent d'enregistrer un accroissement important et continu du nombre des ligneux (Photo 1). Un phénomène de transgression forestière sur les espaces de savane est observé depuis plus de 30 ans dans le centre du pays, ainsi que plus au nord (Spichiger, 1977).

Cette évolution est donc conjointe à une diminution régionale des ressources en eau atmosphérique et à une hausse des températures et de l'évaporation. Le seuil pluviométrique de 1250 mm/an

généralement retenu en Côte d'Ivoire pour marquer la transition entre forêt et savane semble par ailleurs obsolète. Il semble qu'en fait, une hauteur de pluie élevée ne soit pas indispensable pour initier un processus de secondarisation d'une savane arborée. Il suffit que la saison considérée comme écologiquement sèche (précipitations mensuelles < 50 mm) ne dépasse pas 3 à 4 mois, ce qui est encore régionalement le cas malgré la tendance interannuelle déficitaire. En conséquence, en fonction de la répartition intra saisonnière des précipitations, la biomasse maximale peut être observée une année anormalement sèche en savane périforestière de la zone guinéenne (Roux, 1995).



Photo 1 : Vue d'une parcelle savanicole protégée des feux depuis 1962 sur le site de la réserve écologique de Lamto et progressivement envahie par une forêt secondaire relativement dense (cliché pris en mars 2004, © Sylvain BIGOT)

Conclusion

L'étude statistique des séries climatiques collectées à Lamto indique un changement du climat depuis 25 ans, surtout une baisse significative des précipitations conjuguée à une augmentation des températures et de l'évaporation. Mais l'analyse révèle aussi un reboisement naturel progressif des savanes herbacées protégées des atteintes des feux saisonniers. Des analyses complémentaires sont en cours avec des données satellitaires à haute résolution (Landsat, SPOT4 et SPOT5) afin de mieux définir les réponses phénologiques et les évolutions géo-historiques de ces formations végétales.

Remerciements : ce travail a été soutenu financièrement par l'AUF (programme 2002-PAS-18), le Ministère Français des Affaires Etrangères et l'IRD.

Références

- BIGOT S., BROU YAO T., OSZWALD Y. ET DIEDHIOU A., 2004 : Variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. Sécheresse, sous presse.
- LE ROUX X., 1995 : Etude et modélisation des échanges d'eau et d'énergie sol-végétation-atmosphère dans une savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 217 pages.
- SPICHIGER R., 1977 : Contribution à l'étude du contact entre flores sèche et humide sur les lisières des formations forestières humides semi-décidues du V baoulé et de son extension nord-ouest. Bulletin de liaison des Chercheurs de Lamto (Côte d'Ivoire), fasc. I (numéro spécial), 261 pages.

RÉCESSION PLUVIOMÉTRIQUE ET MUTATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES EN CÔTE D'IVOIRE

T. Brou Yao¹, F. Akindès², J. Oswald³, S. Bigot³ et E. Servat⁴

¹Institut de Géographie tropicale (IGT), 22 B.P 744 Abidjan, Côte d'Ivoire
e-mail : telesb@hotmail.com

²Université de Bouaké à Abidjan/ IRD Petit Bassam, 06 BP 1245 Abidjan 06 Côte d'Ivoire.
e-mail : akindès@ird.ci

³Université des Sciences et Technologies de Lille, UFR de Géographie, Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés (LGMA).
e-mail : johan.oswald@univ-lille1.fr

⁴Laboratoire HydroSciences Montpellier (CNRS - UMR – IRD)
e-mail : eric.servat@msem.univ-montp2.fr

Depuis la fin des 60, la Côte d'Ivoire, comme l'ensemble des pays de l'Afrique de l'ouest et centrale, subit une importante variabilité climatique (figure 1). Celle-ci se traduit entre autre par une diminution des hauteurs de pluie, par un décalage des débuts et fins de saison et par une hausse des températures. Une littérature importante rend compte de ces modifications du régime climatique. Plusieurs auteurs font en effet apparaître dans leurs travaux une diminution significative des ressources en eau au cours de ces dernières années (Le Borgne, 1990 ; Servat et al., 1997 ; Brou, 1998). Il est apparu dans leurs études que la baisse des précipitations s'est amorcée, en Côte d'Ivoire comme dans les autres pays du Golfe de Guinée, dès la fin des années 1960, en phase avec ce qui a été observé au Sahel, et s'est intensifiée au cours des années 1980 et 1990.

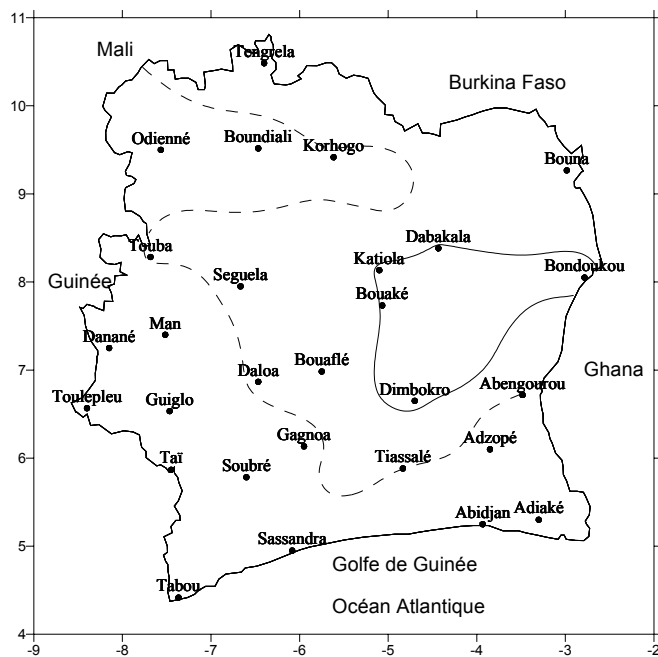


Fig. 1 : Evolution de l'isohyète 1200 mm entre les décennies 1950-59 (trait) et 1990-99 (tireté)

Mais, si les termes de la variabilité climatique sont de mieux en mieux connues, leurs significations, telles que construites par les communautés et les stratégies développées par celles-ci pour y faire face le sont moins. A partir d'une enquête auprès d'un échantillon de villages choisis dans différents contextes agroclimatiques (l'actuelle boucle de cacao dans le sud-ouest, la région de vieille jachère de l'est et la région des savanes du nord), l'objectif de l'étude est de comprendre les perceptions sociales de la variabilité en Côte d'Ivoire et les stratégies développées par les communautés et les acteurs pour gérer les contraintes qu'elles induisent.

Diverses stratégies émanent des réponses données par les enquêtés. Celles-ci portent sur la diversification des sources de revenu, la réallocation des ressources foncières, la mise en valeur de ressources autrefois déclassées, la pratique de culture vivrière en proximité de points d'eau comme stratégie de sécurisation alimentaire.

Les stratégies de sécurisation foncière concernent les régions d'immigration massive

Dans le sud-ouest et le centre ouest de la Côte d'Ivoire, à cause de l'immigration massive (les migrants représentent plus de 40% de la population totale (INS, 1998) en vue de la colonisation des terres forestières humides, les stratégies conservatoires débouchent sur une modification de la vision que les populations autochtones ont de la forêt. En effet longtemps considérée comme un bien commun (en période d'abondance), la forêt est devenue un bien privé et défendu par chaque famille.

Les stratégies de production portent d'une part sur les modifications du calendrier agricole ou gestion par la régulation calendaire et ses effets en termes de choix de culture.

Sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire, les paysans ont modifié leur calendrier cultural en fonction des nouvelles conditions climatiques. Dans l'ouest et l'est du pays, la modification des dates de semis et de récolte ont entraîné la quasi-disparition du riz précoce et du riz tardif.

Dans le nord du pays, la compétition entre agriculteur et éleveur pour l'accès à l'eau étant devenue de plus en plus rude surtout en saison sèche, le calendrier agricole doit désormais tenir compte façon rigoureuse des périodes cruciales de chaque type d'activité agricole. C'est ainsi que les paysans se sont vus obliger d'écourter la période de culture afin d'éviter les dégâts causés par les animaux lors de la traversée des parcelles de culture, en quête de point d'eau. Par conséquent, les cultures de très long cycle telles que les tubercules (igname et manioc) disparaissent progressivement de l'activité agricole de la région parce qu'elles se révèlent être de plus en plus inadaptées à cette nouvelle régulation calendaire. Aujourd'hui, dans les villages en zone savanicole, les dates des semis des cultures sont connues avec précision de tous les paysans.

Les stratégies de production portent d'autre part sur la concentration du temps de travail et des intrants sur les spéculations majeures

Dans le nord par exemple, les paysans privilégient les cultures de coton et de maïs pour les quelles les techniques de production se sont améliorées. Ainsi, du fait du passage de la culture traditionnelle à la culture attelée et mécanisée (souvent modernisée), on assiste à une augmentation considérable des superficies cultivées d'année en année. Les autres cultures (igname, riz, mil etc.) quant à elle connaissent une chute de production, à cause de la faiblesse actuelle de leur rendement.

Dans le sud-ouest, la diversification des activités économiques est utilisée comme stratégie de sécurisation des revenus par les paysans. Ainsi, certains se sont tournés vers de nouvelles cultures tel que celle de l'hévéa, du coton et de l'anacarde. D'autres encore se sont tournés vers de nouvelles activités comme la pisciculture qui commence par être, pour les populations du sud-ouest et du centre ouest. Dans la sous-préfecture de Soubré par exemple, on compte près de 1000 étangs pour 445 pisciculteurs. 12 barrages ont été construits à cette fin.

Dans la région de l'est, ancien bastion de la production agricole, pour contourner la faiblesse des revenus liée à la baisse des rendements du café et du cacao, la solution trouvée par certains agriculteurs a été de se tourner vers les cultures maraîchères : tomates, choux, concombre etc.

Les stratégies de sécurité alimentaire portent quant à elle sur mise valeur de nouvelles ressources foncières autrefois peu valorisées.

La priorité est désormais donnée aux bas de pente, aux bas-fonds non inondable et aux cuvettes à inondation peu fréquentes pour les cultures vivrières (photo1).



Photos 1 : Bas-fonds aménagés pour les cultures vivrières

Dans le sud-ouest, les populations qui ont pris l'habitude, depuis des dates, de cultiver le riz sur les plateaux, préfèrent aujourd'hui utiliser les bas de pentes (généralement humide) à cette fin. Dans l'est du pays, les bas-fonds et les points d'eau sont désormais utilisés pour la production des cultures maraîchères (tomates, choux, salades, aubergines etc.). Ce qui permet de réduire la dépendance de ces cultures vis-à-vis de la pluviométrie, grâce à l'irrigation (soit avec des arrosoirs soit avec une motopompe pour ceux qui ont plus de moyens). Le nord du pays, beaucoup plus affecté par la récession pluviométrique, n'échappe pas aux nouvelles stratégies de gestion de l'espace. En effet, la localisation des terres de culture ne se fait pas au hasard. Les cultures sensibles aux stress hydriques comme le riz pluvial sont de plus en plus cultivées dans les bas-fonds et les abords des rivières.

Les stratégies de sécurités alimentaires concernent également l'association des cultures.

Sur l'ensemble de la région forestière, les paysans procèdent à de nouveaux modes d'association des cultures. La banane par exemple, plante hygrophile est associée désormais au cacaoyer, en l'absence de l'écosystème forestier. Elle profite ainsi de l'ombrage des vergers de cacaoyer, permettant ainsi de réduire son évapotranspiration. Des cultures moins sensibles à l'aridité climatique et aux feux de brousse sont également introduites. Dans l'est et le nord du pays, l'anacardier par exemple commence à devenir une spéculation majeure.

L'adaptation des habitudes alimentaires aux nouvelles données de production fait partir des stratégies de sécurité alimentaire.

Dans le sud-ouest l'aliment de base a toujours été le riz. La banane et le manioc viennent au second plan. Chez les Bété du centre-ouest les aliments de base étaient composés, autrefois, de taro blanc et de la banane plantain. Aujourd'hui, l'ampleur de la sécheresse, la forte fréquence des feux de végétation et la déforestation sont autant de facteurs qui rendent difficiles la culture de la banane et le taro. Face à la vulnérabilité de ces cultures aux conditions écologiques actuelles, le riz (de plus en plus cultivé dans les bas-fonds humides) est devenu l'aliment le plus consommé. Précisons que le riz local qui y est surtout préféré au riz importé à taux de brisure élevé, donc de moindre qualité et de moindre coût, subit cependant la concurrence de ce dernier.

Chez les populations de l'Est du pays (contrairement à ceux de l'ouest), la consommation du riz était jadis très rare. Très peu valorisé dans le système de représentation local, il était plutôt considéré comme « l'aliment des oiseaux ». Dans le système de référence des populations de l'Est, consommer du riz était synonyme de frôler la disette, car ceux qui en mangeaient se plaignaient de n'avoir rien consommé puisque aucun sens n'était endo-culturellement attaché à ce produit alimentaire. Face à la raréfaction actuelle de la banane et compte tenu de la centralité du produit dans la culture alimentaire du terroir considéré, un compromis s'est socialement construit. Ce compromis dans le processus de confection d'un plat de foutou banane tient dans un mélange de manioc et de banane. Sous les contraintes de la baisse de revenus liée aux effets climatiques sur les systèmes de production, le riz a

pris de la valeur dans le système de représentation. De « l'aliment des oiseaux », qu'il était, le riz avec une production importante à bon marché (grâce au soutien de l'Etat depuis 1970) est devenu l'aliment de base de la population.

La dynamique des productions agricoles de la région des savanes donne une idée de l'évolution des habitudes alimentaires. Dans le pays sénoufo, nous avons trois sous espaces ayant chacun une nourriture de base : l'espace mandingue avec le manioc, l'espace Nord Sénoufo avec le mil et l'espace Sud Sénoufo avec l'igname. Le maïs est commun à ces trois espaces. Mieux adapté aux conditions climatiques actuelles et bénéficiant avec le coton de meilleures techniques d'encadrement, le maïs apparaît aujourd'hui comme l'aliment qui assure une relative sécurité alimentaire dans ces régions de savane du nord. Ainsi le "toh" de maïs, "dezro" en sénoufo (repas à base de farine de maïs) est devenu la nourriture la plus consommée dans la région, relayant au second plan le foutou igname ("Fosro" en sénoufo) et le riz ("monnon" en sénoufo). Pendant les périodes de soudures alimentaires, qui sont devenues inévitables, en plus du maïs, l'on consomme le mil et le sorgho. Ces aliments à en croire les paysans peuvent se conserver, pendant au moins douze ans.

Références bibliographiques

BROU T. Y., SERVAT E. ET PATUREL J.E, 1998 : Contribution à l'analyse des inter-relations entre activités humaines et variabilité climatique : cas du sud forestier ivoirien. Académie des sciences / Elsevier, Paris, t.327, série II a, p.833 à 838.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, 2001 : Recensement Général de la Population et de l'Habitat de Côte d'Ivoire. Rapport de synthèse, volume migration, INS, Abidjan 46 P.

LE BORGNE J., 1990 : La dégradation actuelle du climat en Afrique , entre Sahara et Equateur in "la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". Dakar, P. 17-36.

SERVAT E., PATUREL J-E., LUBES H., KOUAME B., OUEDRAOGO M., MASSON J-M., 1997 : Variabilité climatique en Afrique humide le long du Golfe de Guinée. Première partie : analyse détaillée du phénomène en Côte d'Ivoire. Journal of Hydrology, 191, 1-15.

**LA DIVERSITÉ GÉOGRAPHIQUE DE LA CANICULE
DE L'ÉTÉ 2003 EN BASSE-NORMANDIE**
**INFLUENCE DES FACTEURS GÉOGRAPHIQUES ET DYNAMIQUES
SUR LA RÉPARTITION D'UN RISQUE CLIMATIQUE**

O. Cantat et E. Savouret

Géophen, UMR LETG 6554 CNRS, UFR de Géographie, Université de Caen Basse-Normandie

e-mail : cantat@geo.unicaen.fr

Résumé : En Basse-Normandie, la dégradation du climat océanique présente des formes multiples en fonction de la diversité des expositions de façade, de la distance au littoral et de la topographie. En interrelation avec la force et la direction du vent, d'échelle synoptique et/ou locale (brise de mer), ces particularités géographiques ont occasionné de très fortes différences de températures maximales durant la période de canicule de l'été 2003 sur la région.

Mots clé : canicule, été 2003, Basse-Normandie, facteurs géographiques, vent, brise de mer

Introduction

Durant l'été 2003, l'Europe occidentale a connu une canicule exceptionnelle et sans précédent depuis qu'existent des relevés fiables, soit aux environs de 1880. Il n'avait jamais fait aussi chaud, aussi longtemps et sur une étendue géographique aussi vaste. En France, ce phénomène climatique s'est prolongé sur près de deux semaines, période durant laquelle des températures maximales supérieures à 35°C ont été relevées dans plus de deux tiers des stations météorologiques. Mais la canicule de 2003 restera surtout gravée dans les mémoires pour ses conséquences humaines : entre le 1er et le 15 août 2003, l'Institut de Veille Sanitaire a estimé l'augmentation de la mortalité à 55% (32 065 décès signalés contre 20 630 attendus).

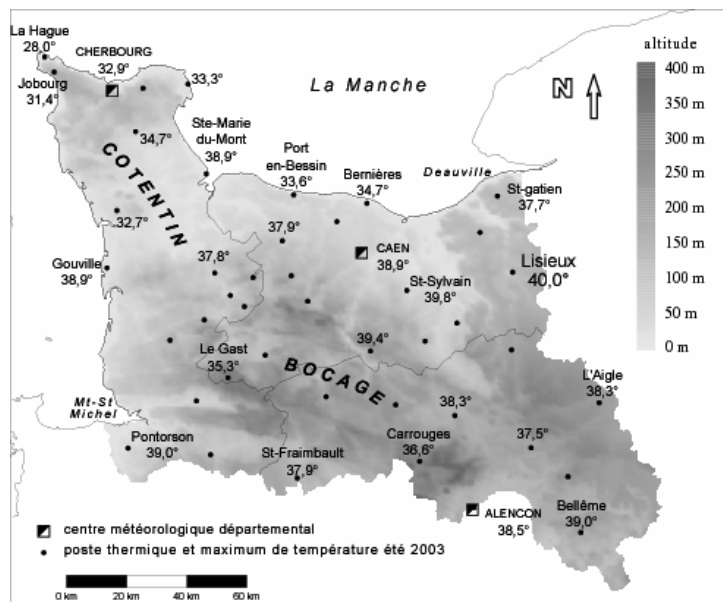


Fig. 1 : Repères géographiques et températures maximales journalières extrêmes durant l'été 2003 en Basse-Normandie

Grâce à sa position océanique, la Basse-Normandie est épargnée, habituellement, par les très fortes chaleurs. En 2003, en revanche, elle n'a pas échappé au phénomène... : durant la première quinzaine du mois d'août, les températures maximales ont dépassé à plusieurs reprises 35°C, y compris sur le littoral, et même atteint localement 40°C (comme à Lisieux, cf. fig. 1), établissant à cette occasion un nouveau record absolu pour la région. Les hauteurs du Bocage ont relativement peu atténué l'intensité de

ces fortes chaleurs (masse d'air tropical très chaud au sol et en altitude) : 35,3°C à la station du Gast (337 m) et 36,8°C, à Carrouges (295 m). A l'abri des collines et au plus loin de la Manche, par confinement de la masse d'air, la chaleur devenait même suffocante (39,0°C à Bellême, 150 m d'altitude).

1. Dimension géographique de la canicule de 2003 en Basse-Normandie

1.1 La géographie des températures maximales moyennes

La carte ci-dessous montre une organisation spatiale assez classique pour un domaine au contact d'une importante masse d'eau faisant office de « climatiseur » en période chaude (fig. 2).

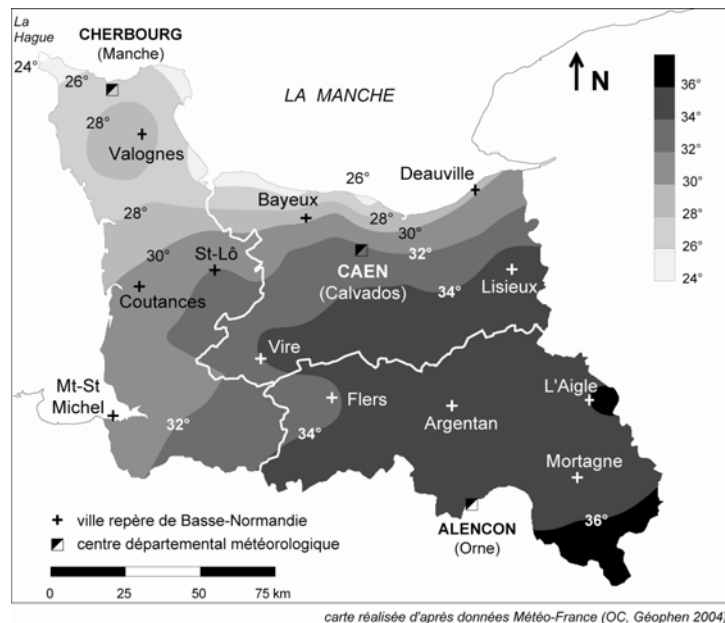


Fig. 2 : Températures maximales journalières moyennes du 3 au 12 août 2003 en Basse-Normandie

Durant la décade la plus chaude de l'été 2003 (du 3 au 12 août), la différence de température a été particulièrement remarquable entre la chaleur extrême des confins continentaux du sud-est de la région ($T_{maxi} > 36^{\circ}C$) et la fraîcheur relative du secteur de La Hague ($T_{maxi} < 24^{\circ}C$) en raison de son caractère "finistérien".

1.2 Les particularités locales de la canicule « au fil de la journée » : le rôle des brises de mer

Pour mettre en évidence le rôle thermique des brises de mer, la figure 3 présente l'évolution horaire des températures au cœur de la période caniculaire pour trois stations réparties de la côte vers l'intérieur des terres : Bernières-sur-Mer, Caen-Carpiquet et St-Sylvain (localisation sur fig. 1).

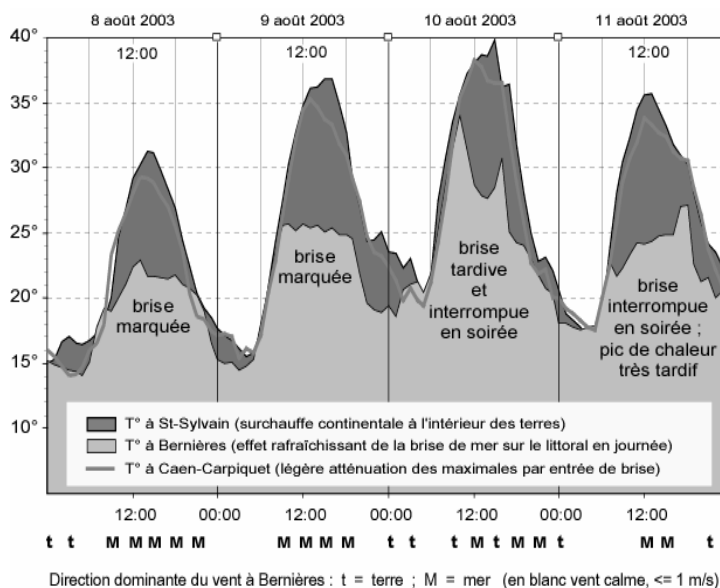


Fig. 3 : Effet de la brise de mer sur l'évolution horaire des températures

Durant cette période de temps clair et calme, l'élévation diurne de la température a été systématiquement stoppée sur le littoral par l'entrée d'air frais de la mer, "aspiré" par la dépression thermique liée au réchauffement important des terres sous l'action du soleil. Ce graphique met aussi en évidence les sautes de température sur la frange littorale (liées à l'origine marine ou continentale des vents), comparativement à la régularité des courbes à l'intérieur des terres où l'effet rafraîchissant de la brise de mer n'agissait plus.

En se replaçant dans l'espace géographique bas-normand, la figure 4 traduit le rôle déterminant du changement de direction du vent (par effet d'échelle synoptique et / ou l'établissement de brise de mer) pour expliquer des chutes de températures impressionnantes du jour au lendemain (près de $20^{\circ}C$ de moins sur la côte ouest au sud du Cotentin !).

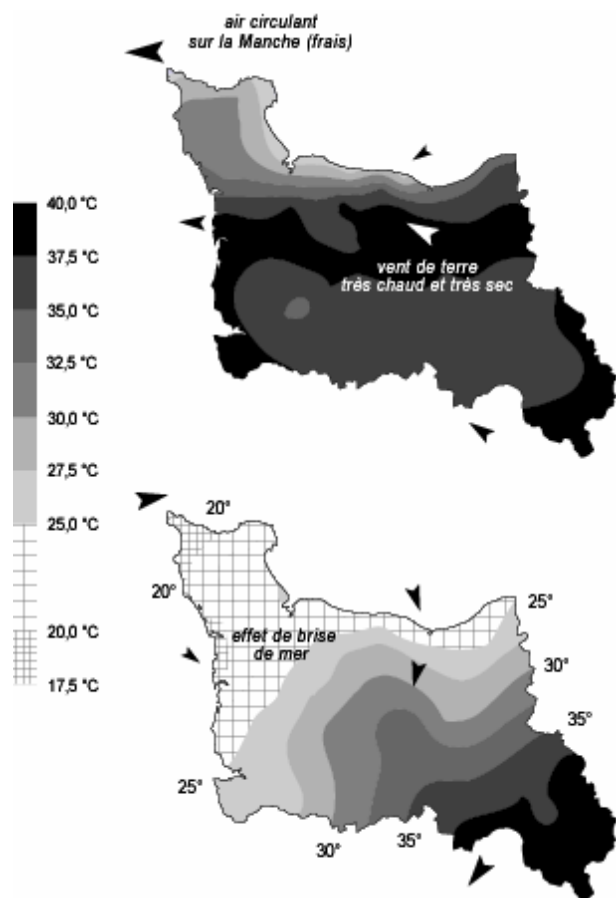


Fig. 4 : Rôle de la direction du vent sur les températures maximales en Basse-Normandie

5 août 2003 : premier pic de canicule...

Le vent d'est soutenu a permis à la chaleur de gagner la plus grande partie de la région : 39,3°C à St-Sylvain, 39,0°C à Pontorson, 38,9°C à Caen. Seuls le nord-Cotentin et le littoral calvadosien ont « résisté » : 23,9°C à La Hague, 26,9°C à Bernières-sur-Mer.

Nota : les flèches indiquent la direction du vent à 12h00 UTC leur taille est proportionnelle à leur force :

- petite : ≤ 2 m/s
- moyenne : 3 - 4 m/s
- grande : ≥ 5 m/s

6 août 2003 : entrée brutale d'air marin plus frais

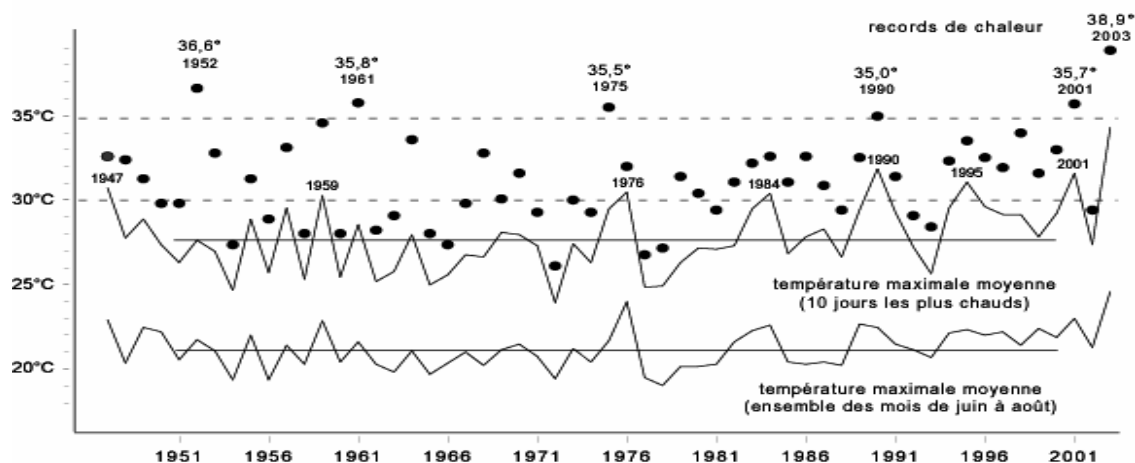
L'orientation des vents à la mer a brutalement fait reculer la chaleur sur tout le nord-ouest de la région : moins de 18°C à Jobourg et seulement 19,7°C à Gouville-sur-Mer contre 38,9°C la veille ! Les très fortes températures se sont en revanche maintenues dans le sud-est de la région (39,0°C à Bellême et 38,4°C à Alençon).

2. L'été 2003 dans son contexte historique récent : une canicule exceptionnelle...

De nombreux cas de canicules sont mentionnés dans les archives historiques. Mais l'absence de mesures normalisées ne permet pas de comparer directement ces événements anciens à ceux enregistrés « objectivement » depuis la fin du 19e siècle grâce aux premières stations météorologiques. Pour ces raisons, il est difficile de juger du caractère exceptionnel de cette année dans un contexte historique plus large que le siècle dernier.

A Caen, les mesures de températures fiables et continues commencent en 1946 (fig. 5). L'élément marquant de cette chronique est la variabilité. Le caractère très haché de cette série est un signe distinctif des climats "tempérés" des façades océaniques des latitudes moyennes où la grande variabilité des configurations barométriques engendre des étés généralement doux. On observe aussi des années "anormalement" chaudes, qualifiées de "Grands étés", comme 1947, 1959, 1976, 1990 ou 2003. Celles-ci correspondent à des remontées précoces, prononcées et durables des anticyclones subtropicaux (air très chaud et sec en provenance du sud de la Méditerranée). A contrario, certains étés frais, nuageux et venteux (comme en 2002, par exemple) s'expliquent par la translation insuffisante vers le nord des hautes pressions subtropicales, laissant ainsi le champ libre au temps frais et agité lié aux perturbations océaniques des latitudes moyennes, habituellement rejetées sur les Îles britanniques. Toutes ces fluctuations s'intègrent pleinement dans la variabilité climatique « normale » de la façade océanique européenne aux latitudes moyennes, soumis au balancement saisonnier de la dépression d'Islande et de l'anticyclone des Açores. Si la dernière décennie apparaît particulièrement chaude, le manque de recul historique limite en revanche nos conclusions sur un changement climatique à long terme...

Fig. 5 : La variabilité saisonnière interannuelle des températures maximales à Caen depuis 1947



Conclusion

L'étude de la canicule exceptionnelle de l'été 2003 (intensité, durée, fréquence et extension géographique) met en valeur une opposition thermique très nette entre l'isolat frais constitué par la presqu'île du Cotentin et les confins continentaux de la région exposés à une chaleur extrême. Depuis le 1er juin 2004, la dimension géographique du risque canicule est mieux pris en compte par Météo-France, avec l'utilisation de seuils d'alerte variables selon les départements et prenant en compte aussi les températures nocturnes (17°/29° pour la Manche, 18°/31° pour le Calvados et 18°/33° pour l'Orne). Ces valeurs ont été déterminées par le croisement des données météorologiques de Météo-France et des données épidémiologiques de l'Institut de Veille Sanitaire, en analysant les épisodes de fortes chaleurs de 1976, 1983 et 2003 qui ont provoqué des surmortalités notables. Mais au-delà de ces limites administratives, nécessaires à la transmission de l'information aux autorités en charge de la prévention, cet exemple montre aussi l'influence à échelle fine des facteurs géographiques et dynamiques sur la répartition spatiale d'un risque climatique.

Nota : les cartes, les tableaux et les graphiques ont été réalisés d'après des données de Météo-France

Références bibliographiques

- CANTAT O., BRUNET L., 2001 : Discontinuité géographique et particularités climatiques en Basse-Normandie. *Annales de Géographie*, n° 622, pp. 579-596.
- CANTAT O., SAVOURET E., 2004 : La canicule de l'été 2003 : un épisode météorologique « hors normes » ? Expertise d'un risque climatique en Basse-Normandie. *Cahiers de la MRSH, Université de Caen Basse-Normandie* (à paraître).
- ESCOURROU G., 1978 : *Climats et types de temps en Normandie*. Champion, 1081 p. et 525 p.
- METEO-FRANCE, 2004 : La vigilance s'étoffe d'un nouveau paramètre : la canicule. *Eole, Information mensuelle de la direction interrégionale ouest*, juin 2004, pp. 2-3.
- PLANCHON O., 1998 : La notion d'échelle en climatologie : l'exemple des climats maritimes et côtiers en Europe. *Annales de Géographie*, n° 602, pp.363-380.
- TRZPIT J.-P. Présentation du climat normand. In : *Atlas de Normandie*. Caen : Association pour l'Atlas de Normandie.

CARACTÉRISATION DES ÉVÉNEMENTS PLUVIEUX DITS « À RISQUE » DANS L'AGGLOMERATION LYONNAISE

J. Comby et S. Rueneuve

Laboratoire de Climatologie-Risques-Environnement (LCRE) - CNRS UMR 5600,
Université Jean Moulin, Lyon 3

Résumé : L'analyse des événements pluvieux dits « à risque » sur l'agglomération lyonnaise met en évidence le rôle des facteurs externes dans la mise en place des processus pluvio-gènes; advections d'air froid, flux méridionaux, domination des situations associées à un front orageux, etc... Le rôle des facteurs locaux, important mais complémentaire, reste à préciser.

Mots Clefs : Risque, météorotype, intensités, SCME, risque, système organisé, AMP.

Abstract: The analysis of the risky rainfalls events in the Lyon's agglomeration, brings forwards the role of external factors in the settlement of rain phenomena : cold air advections, southern flux, the dominant part of situations characterized by a stormy front, etc... The role of the local factors, additional but mattering, should be clarified.

Key Words: Hazard, meteorotype, intensities, MCS, organized systems, MPH.

Introduction

L'exposé qui suit illustre pour partie les études engagées dans le thème de recherche « connaissance de la pluie » de l'OTHU, coordonnée par le LCRE (L'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine du Grand Lyon regroupe 15 laboratoires en fédération de recherche et des partenaires publics ; Grand Lyon, CERTU, etc...). Les travaux engagés doivent permettre d'atteindre plusieurs objectifs dont parmi eux : la détermination de météorotypes à risque (types de situations) et l'évaluation, à terme, des liens et corrélations entre : les météorotypes (terme emprunté à J. P Vigneau, 1986, in J. Comby, 1998), les systèmes nuageux observés et la nature des intensités, lors d'épisodes pluvieux à l'origine de nuisances. Ceci, afin d'améliorer la prévision des phénomènes.

1. Sélection des situations : le recoupement de trois sources d'information

Le choix des épisodes de pluie analysés repose sur le recoupement de trois sources d'informations essentielles, correspondant à trois critères de sélection (déterminés en collaboration avec E. Leblois, H. M. Ramos du CEMAGREF Lyon, 2003) : la reconnaissance d'épisode pluvieux de forte intensité (prenant en compte les intensités ponctuelles et surfaciques, pas de temps de 30 minutes, 29 stations, la détermination des Systèmes Convectifs de Mésos-échelle (SCME), les nuisances subies lors d'épisode pluvieux (« Base de données historique du risque » du Grand-Lyon, in C. Druot, 2002). L'analyse proposée dans ce résumé qui s'appuie sur 5 années d'observations (détection des SCME mise à disposition à ce jour limitée à la période 1993-97), sera étendue pour la présentation au colloque de l'AIC de septembre à 20 années. Au total 39 épisodes ont été sélectionnés et traités. L'analyse des situations est fondée sur le modèle climatique de l'Anticyclone Mobile Polaire dit de « l'école lyonnaise » (M.Leroux, 1986).

2. Une typologie à grande échelle marquée par le poids des conditions générales

Le premier constat à souligner est que dans la quasi-totalité des cas analysés (à l'exception d'un seul), les situations relèvent de systèmes organisés de grande échelle (J. Comby, S. Rueneuve, 2003). Aucune des situations ou presque ne peut être réduite à des facteurs exclusivement locaux (ex : orages localisés où les ascendances sont provoquées par convection thermique locale, etc...). Pour cette raison la classification proposée s'appuie sur une typologie à grande échelle. Deux types de situations très généraux peuvent être différenciés (J. Comby, 1998). Pour les résumer très schématiquement :

Type 1 : Les configurations qui se caractérisent par une ou plusieurs advection d'air anticyclonique froid, AMP, sur le continent, par la façade atlantique et/ou par la Scandinavie, et qui envahissent le nord du couloir rhodanien. La principale particularité de ces situations est, outre le rôle de l'air anticyclonique dans la déviation et l'accélération de flux méridionaux en direction de Lyon (M. Leroux, 1996, J. Comby, 1998), son impact déterminant sur les ascendances. Dans tous les cas il contribue à renforcer le rôle des reliefs dans l'élévation des flux humides et il est majoritairement responsable des ascendances en secteurs de plaine. C'est le plus souvent dans ce type de situation que les volumes et les intensités atteignent des maxima dans ces secteurs. On note la présence d'un front orageux souvent très marqué.

Type 2 : Les configurations sans advection anticyclonique sur le continent. Dans ce cas le rôle de l'air anticyclonique se limite à la déviation et à l'accélération des flux de sud. Les ascendances sont pour une large partie conditionnées par l'orographie et le paroxysme des intensités et des volumes déversés se situe sur et autour des reliefs. Le plus souvent, on ne note pas la présence d'un front orageux précis (mais ce n'est pas systématique, J. Comby, 1998). Ces deux grands types de situations peuvent ensuite être subdivisés en sous-types, dont les caractéristiques modifient peu les grands principes des configurations initiales, mais modifient en revanche, l'état des conditions essentielles à la pluviogenèse : ascendances, alimentation en potentiel précipitable, vitesse des flux advectés, etc... Ce sont ces conditions qui font que d'une situation à l'autre l'intensité des phénomènes peut beaucoup varier.

3. Les situations du 07/09/95 et du 02/06/93 : analyses de cas d'espèce

L'ensemble des situations observées répond à ces deux types schématiques de météorotypes. C'est le cas des deux situations qui sont succinctement présentées ici, à titre indicatif : celle de type 2 du 07/09/1995, intéressante car classée non-SCME par Météo-France, mais pourtant à l'origine d'intensités surfacique et ponctuelle fortes en rapport aux épisodes analysés, et qui a provoqué de fortes nuisances sur l'agglomération; Celle de type 1 du 2 juin 1993, classée SCME, par Météo-France, d'intensités surfacique et ponctuelle faibles, mais qui a causé des nuisances relativement fortes.

Situation du 07/09/1995 (type 2) : La mise en place de la situation est caractérisée par le déplacement d'une cellule anticyclonique qui traverse l'Atlantique depuis l'Amérique du nord, (entre le 04 et le 07/09/1995, fig. 1 et Photo 1) et pénètre par la face orientale de l'agglutination anticyclonique (AA) des Açores (AA, J Comby 1991, M Leroux, 1991) dans les marges tropicales le 07/09/1995. La dépression induite qui l'accompagne dans sa migration vient renforcer un système dépressionnaire déjà en place sur l'Europe de l'Ouest. Son déplacement est matérialisé dans le champ de pression au sol, comme en altitude à 500 Hpa où l'on peut suivre le déplacement du talweg qui naît avec le couloir dépressionnaire formé sous l'impulsion de l'advection anticyclonique. On notera que l'advection en altitude d'un air relativement froid sur le versant ouest du talweg constitue une condition favorable à l'ascendance, elle n'est cependant pas initiale et n'est donc pas à l'origine du phénomène de basse couche. Résultante, elle constitue un facteur aggravant de la situation initiale, (J. Comby, 1998). La migration de la cellule anticyclonique vers le Sud-Est produit un double effet. (1) Elle dévie vers le Nord un flux de sud qui circule sur la Méditerranée avant de pénétrer sur le littoral et de remonter en direction du Nord dans le couloir dépressionnaire qui alimente la dépression. (2) Elle provoque le resserrement progressif du couloir dépressionnaire contre les Alpes, et en conséquence l'accélération des flux méridionaux (Sur l'agglomération lyonnaise, les plus forts volumes et intensités se concentrent sur et aux alentours de la colline de Fourvière et sur la bordure du plateau de la Dombes (66,7 et 66,4 mm en valeur maximale).

Fig. 1 : Schéma simplifié situation du 07- 09-1993 (d'après BME, 12h00 UTC)

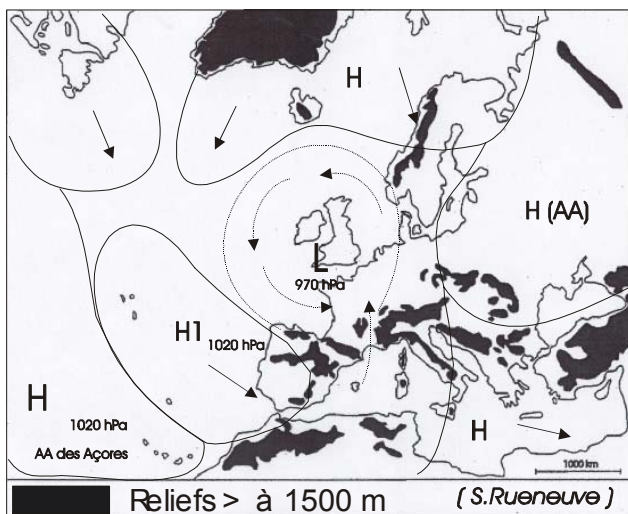
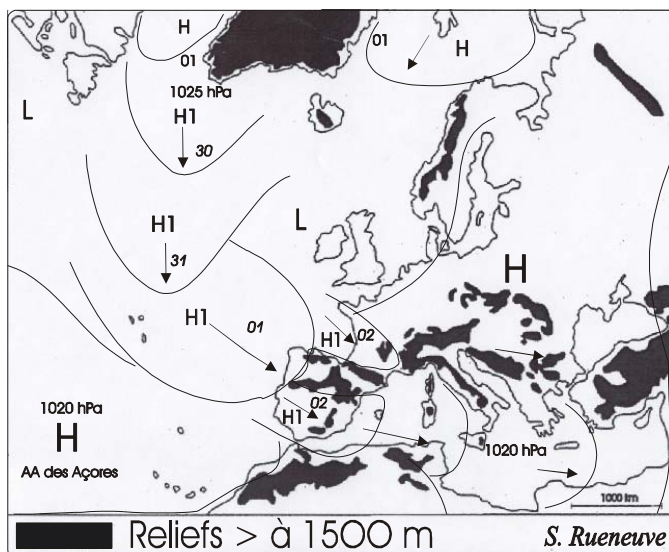


Photo 1 : Europe de l'Ouest NOHAA, CV, 00h00 UTC



Situation du 02/06/93 type 1 : Contrairement au schéma précédent, la situation est caractérisée par la présence d'un front orageux qui trouve son origine dans l'advection d'une cellule anticyclonique sur le sud-est de la France, qui pénètre dans une dorsale anticyclonique qui s'étend de l'Atlantique à l'Est de Europe (fig. 3). Les ascendances sont ici d'origine aérologique, l'air froid pénétrant dans l'agglutination soulève l'air antérieur qu'il rencontre. Les précipitations sont cependant courtes et peu abondantes en raison de la situation anticyclonique peu favorable au développement persistant de mouvements ascendants et qui interdit l'advection depuis la Méditerranée de flux dépressionnaires méridionaux vecteur de potentiel précipitable (intensité maximale ponctuelle en 30 minutes, 9,6 mm à Saint-Priest). Ainsi l'air soulevé, anticyclonique, peu chargé en humidité, ne fournit qu'un faible potentiel précipitable et, qui plus est, il n'est pas renouvelé. Reliefs et plaines ne se singularisent pas par une distribution particulière des volumes d'eau.

Fig. 3 : Schéma simplifié de l'évolution de la situation du 30/05 au 02/06/1993 à 12h00 UTC.



3. Synthèse des premiers éléments d'informations issus des analyses

3. 1 Le poids des facteurs de grandes échelles dans l'origine des processus

Dans la quasi-totalité des cas, les situations correspondent à des systèmes organisés de grande échelle : 70 % des situations sont de type 1, soit avec l'advection d'air anticyclonique et la présence d'un front orageux, 30 % de type 2 c'est-à-dire sans advection anticyclonique en masse sur la France. Dans 90 % des cas le potentiel précipitable mobilisé dans les ascendances provient d'une alimentation par un flux de sud (ayant circulé sur la Méditerranée). Les situations où le potentiel précipitable mobilisé peut être considéré comme local, ou, tout au moins, pas renouvelé par un flux méditerranéen voire atlantique, sont très rares : 5 % des cas là encore.

3. 2 Un rôle complémentaire des facteurs locaux qui restent à préciser

Des distributions temporelles qui posent questions : Contrairement au sud du couloir où l'on note une très forte concentration des épisodes pluvieux intenses sur l'automne, c'est en été (14/25) et au printemps (8/25 contre 3/25 en automne) que les plus forts orages sont observés sur l'agglomération lyonnaise. Cette concentration estivale pourrait souligner l'influence du facteur continental (convection thermique) et le rôle des facteurs locaux qui sans être à l'origine des phénomènes, contribuent à les renforcer. On peut encore souligner qu'à l'échelle de la journée, les intensités maximales observées se situent dans un cas sur deux entre 12 et 16h00 (là encore le rôle de la convection thermique et son origine, doivent être mieux définis).

L'impact du relief : dans les situations où les pluies sont généralisées à l'ensemble de l'agglomération (70% des cas), le renforcement des ascendances sur les reliefs est généralement vérifié par des intensités et des volumes plus forts (Constat qui n'est pas en adéquation avec les analyses antérieures qui montrent des moyennes mensuelles et annuelles plus fortes sur l'Est lyonnais, au relief pourtant très peu accidenté.

Enfin on remarque qu'il n'existe pas de corrélation systématique entre le niveau de nuisances et l'intensité des pluies. Comme Carole Druot (2002) l'a montré sur l'Est lyonnais, ce niveau peut être atteint avec des seuils d'intensité très bas. Une observation qui souligne une nouvelle fois le rôle des facteurs socio-économiques (vulnérabilité au sens large) dans l'importance des nuisances subites.

Conclusion

Cette première analyse des épisodes pluvieux à risque permet de dégager plusieurs observations. Elle met en évidence le poids des facteurs externes dans la mise en place des processus pluvio-gènes. Le rôle majeur des flux méridionaux déviés par les AMP dans la fourniture du potentiel précipitable mobilisé au cours des épisodes de pluie de forte intensité. Elle montre encore la part dominante des situations caractérisées par un front orageux associé à une advection d'air froid en masse (AMP) sur Lyon. Le rôle des facteurs locaux, complémentaires mais important pour la compréhension de la distribution spatiale des intensités sur l'agglomération, doit être précisé.

Remerciements : à l'ensemble des étudiants du LCRE, dont les travaux ont servi à cette étude, en particulier : Druot C. Gache F, Le Heno A, Morel H, Tepaz B, Rueneuve S.

Références bibliographiques

- COMBY J, LEBLOIS E, RAMOS M, RUENEUVE S., 2003, Analysis of strong rainfalls and weather types in Greater Lyon, OTHU European Seminary, INSA, Lyon, s-presse.
- COMBY J., 1998, Les Paroxysmes pluviométriques dans le couloir rhodanien et ses marges, thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon III, 670 p.
- LEROUX M., 1996, La dynamique du temps et du climat, Masson, 310 p, réédition 2000.
- RAMOS M-H. (2002) Analyse de la pluviométrie sous des systèmes nuageux convectifs, étude de cas sur des données de la ville de Marseille et de la méthode ISIS de Météo-France, thèse, LTHE, Grenoble.

CIRCULATIONS MÉRIDIENNES ET PLUIES EXTRÊMES SUR LA TUNISIE : CAS DE L'AUTOMNE ET DE L'HIVER 2003-2004

J. Elhajri

Laboratoire de Biogéographie et de Climatologie Appliquée,
Faculté des lettres. 2010 Manouba, Tunisie
e-mail : Jamil.Hajri@yahoo.fr

Mots clés : Tunisie, Circulation méridienne, pluie extrême, circulation de « retour d'Est ».

Abstract: The autumn and the winter 2003-2004 were characterized in Tunisia by some precipitation of extreme intensity and quantity. These events affected the eastern part of the country; they were the cause of the inundations and of the important human and material loss. These exceptional precipitations are related to the bursting of the zonal atmospheric flow for the profit of a meridian circulation. In this article, we present the outstanding of these rainy events upon the plan of frequency, of importance, and of intensity. In addition, we present the role of the meridian circulation in the genesis of these extreme rainy events.

Introduction

L'automne et l'hiver 2003-2004 ont été caractérisés en Tunisie par des événements pluviométriques remarquables. Ces événements ont été à l'origine des pertes humaines et matérielles importantes. Ils ont touché la partie orientale du pays - caractérisée souvent par des totaux annuels modestes – notamment le Nord Est (spécialement la région de Grand Tunis). Cette région a été affectée par des précipitations d'une extrême intensité et quantité. Les pluies du 16, 17 septembre et du 24 décembre 2003 écoulées sur le Grand Tunis ont été qualifiées d'exceptionnelles (fig. 1 et 2), et ont été à l'origine des inondations catastrophiques.

Fig. 1 : Pluviométrie de Sep. 2003 : R /N

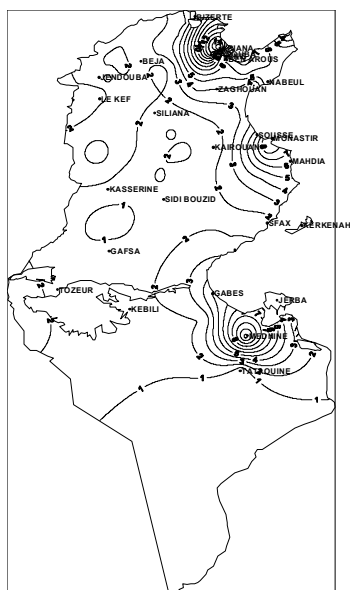
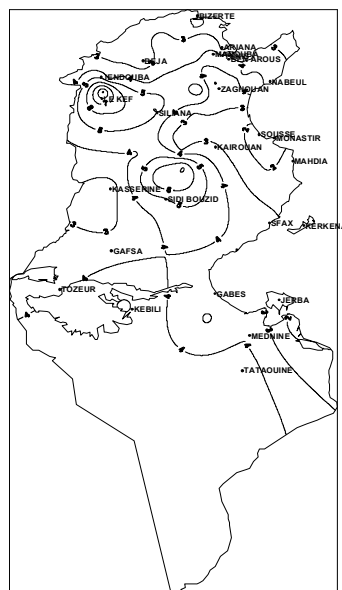


Fig. 2 : Pluviométrie de Déc. 2003 : R/N



Ces événements extrêmes sont liés à une rupture de l'écoulement atmosphérique zonal au profit d'une circulation méridienne (phénomène de blocage). Cette circulation a été à l'origine des types de temps dépressionnaire caractérisant le large de la côte orientale de la Tunisie. La circulation engendrée par ces dépressions est désignée par « retour d'Est » (Henia et Melki, 2000).

1. Données et méthodes

Les données utilisées dans cette étude sont recueillies auprès de l'Institut National de la Météorologie (I.N.M) et auprès de la Direction Générale des Ressources en Eau (D.G.R.E) au sein du Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques. Elles comportent :

- les quantités pluviométriques journalières et mensuelles du mois de septembre et de décembre 2003.
- la pluviométrie maximale journalière des deux mois concernés sur une période de 115 années pour la station de Tunis Mannoubia, 47 années pour Tunis Carthage, 22 années pour la station de Manouba et de Ben Arous. Elles sont ajustées statistiquement. Plusieurs lois ont été étudiés ; à savoir la loi exponentielle, la loi log normale à deux et à trois paramètres, la loi de Gumbel et la famille des lois Gamma. Ces lois ont montrés une concordance des courbes empiriques et théoriques.

L'explication de ces événements exceptionnels a été basée sur l'analyse des bulletins hebdomadaires d'études et de renseignements publiés par Météo France.

2. Résultats

Les quantités pluviométriques au cours de la période d'étude a été largement excédentaire. Le rapport à la normale dans la partie orientale du pays et pendant le mois de septembre 2003 dépasse 6,2 (D.G.R.E , 2003), voire 11,3 à Tunis où on a collecté 397,5 mm, alors que la normale ne dépasse pas 36 mm. C'est une quantité qui n'a jamais été enregistrée au cours de la période de référence (1888-2003).

Le tableau 1 présente les caractéristiques principales de ces pluies et de celles de décembre 2003 dans la région de Grand Tunis.

Tab. 1 : Caractéristiques principales des pluies de septembre et de décembre 2003

Stations	Septembre 2003			Décembre 2003		
	La normale	Total du mois	R/N	La normale	Total du mois	R/N
Tunis Carthage	35 mm	397,5 mm	11,3	62,2 mm	165,8 mm	2.6
Tunis Mannoubia	31 mm	225,4 mm	7,2	61,1 mm	206,2 mm	3.3
Ariana menzeh6	26 mm	447,7 mm	17,2	71,5 mm	169,8 mm	2.3
Ben Arous	35 mm	218,5 mm	6,2	51,2 mm	229,8 mm	4.4
Mannouba	31.4 mm	427,4 mm	13,6	47,4 mm	192,1 mm	4.0

Ces fortes pluies ont été d'une intensité remarquable. Le 17 septembre et le 11 décembre 2003, dans la région de grand Tunis on a enregistré des quantités exceptionnelles. Des records horaires ont été observés dans la même région durant la journée du 24 septembre ,86,5 mm entre 15h et 16h à Tunis Carthage, 71 mm entre 13h30 et 14h15 et un total en deux heures de 135,5 mm à l'Ariana. Ce qui correspond respectivement à une intensité de 94mm par heure et 68mm par heure. Les périodes de retour de ces intensités dépassent de loin la centennale qui est de 40mm par heure pour une durée d'une heure et de 25 mm par heure pour une durée de deux heures. Dans les deux situations (celles de septembre et de décembre) les stations du Grand Tunis restent les plus arrosées. Le 17 septembre 2003 les quantités maximales journalières des pluies sont enregistrées à la station de Tunis Carthage 182,5 mm (Hajje, 2004), l'Ariana Menzeh6 187,8 mm et Mannouba 160 mm. Le 11 décembre 2003 on a enregistré 152 mm à Ben Arous, 120 mm à Tunis Mannoubia, 81 mm à Tunis Carthage et 77,6 mm à Mannouba (fig. 3 et 4 et tab. 2 et 3).

Fig. 3 : Événement du 17 Sept. 2003 en mm (Grand Tunis)

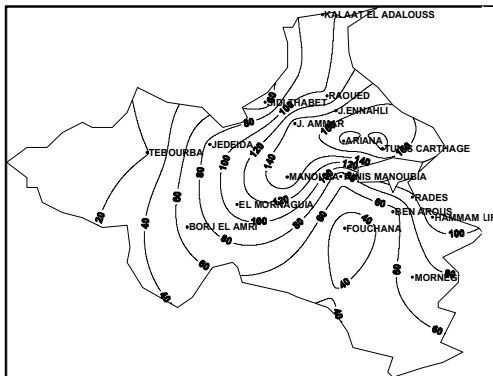
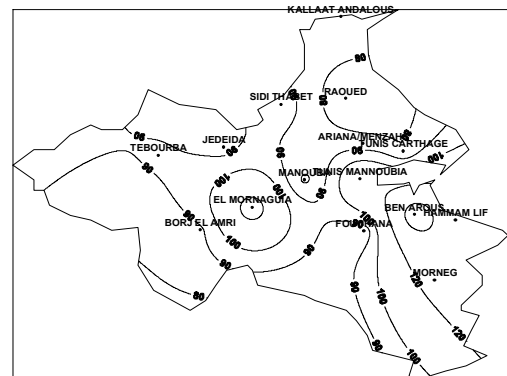


Fig. 4 : Événement du 11 Dec. 2003 en mm (Grand Tunis)



Tab. 2 : Caractéristiques statistiques de la pluviométrie maximale journalière du mois de septembre.

Stations	Nombre d'années	Moyenne en mm	Total en mm du 17-09-2003	Minimum en mm de la période	Coefficient de variation Cv	Coef. d'asymétrie Cs	Cs/Cv
Tunis Mannoubia	115	17.1	62.5	0	1	2.83	0.35
Tunis Carthage	47	22.4	182.5	0	1.42	3.43	0.41
Mannouba	22	21.5	160	0	1.53	3.86	0.39
Ben Arous	22	19.29	52	0	1.17	1.58	0.74
Ariana	17	24.74	187.8	0	1.15	3.73	0.30

Tab. 3 : Caractéristiques statistiques de la pluviométrie maximale journalière du mois de décembre

Stations	Nombre d'années	Moyenne en mm	Total en mm du 17-09-2003	Minimum en mm de la période	Coefficient de variation Cv	Coef. d'asymétrie Cs	Cs/Cv
Tunis Mannoubia	115	21.6	120	1.9	0.881	2.57	2.92
Tunis Carthage	47	19	81	3	0.848	2.21	2.6
Mannouba	22	18	77	1	0.941	2.25	2.39
Ben Arous	22	27.5	152.2	6	1.28	2.59	2.02
Ariana	-	-	-	-	-	-	-

Ces tableaux montrent bien un caractère d'irrégularité pluviométrique maximale journalière et une grande variabilité qui atteint 1,53 (septembre à Manouba) et 1,28 (décembre à Ben Arous) avec une asymétrie supérieure à 2. Ainsi pour l'ensemble des stations du Grand Tunis les maximales observées aussi bien pour le mois de septembre que pour le mois de décembre 2003 sont très élevées.

Les séries d'observation des stations étudiées sont ajustées statistiquement (tab. 4 et 5).

Tab. 4 : Pluies maximales journalières du mois de septembre (en mm) pour différentes périodes de retour (années)

Stations	Période humide					2	Période sèche				
	1000	200	100	50	20		20	50	100	200	1000
Tunis Mannoubia	118	90.55	78.72	66.89	51.26	11.93	0.88	0.34	0.17	00.9	0.02
Tunis Carthage	154.4	118.4	102.96	87.46	66.98	15.50	1.15	0.45	0.22	0.11	0.02
Mannouba	149.48	114.49	99.99	85.08	65.37	15.6	1.10	0.43	0.22	0.11	0.02
Ben Arous	133.23	102.96	88.82	75.45	57.78	13.37	0.99	0.39	0.19	0.10	0.02

Tab. 5 : Pluies maximales journalières du mois de décembre (en mm) pour différentes périodes de retour (années)

Stations	Période humide					2	Période sèche				
	1000	200	100	50	20		20	50	100	200	1000
Tunis Manoubia	163	111	92.2	75.2	55.3	16.2	4.81	3.57	2.94	2.46	1.71
Tunis Carthage	141	95.8	79.6	65	48	14.4	4.6	3.54	2.99	2.58	1.94
Mannouba	123	94.6	82.2	69.9	53.5	12.5	1.1	0.55	0.37	0.28	0.20
Ben Arous	283	177	141	110	75.8	16.9	3.76	2.59	2.02	1.61	1.00

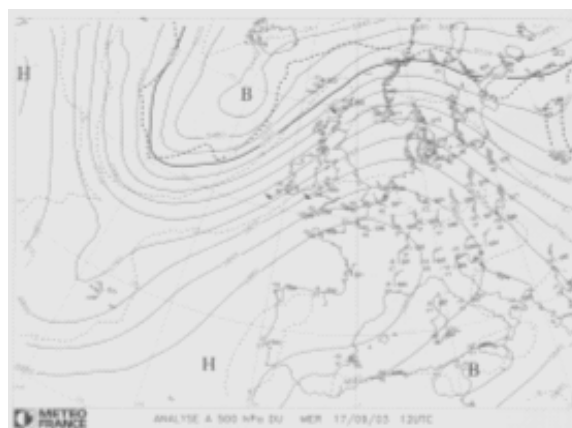
A titre d'exemple, la pluviométrie maximale journalière enregistrée le 11 décembre 2003 à Tunis Manoubia (120 mm) a une période de retour de 275 ans, celle de Tunis Carthage (81 mm) a une période de retour de 106 années. Pour la station de Mannouba la pluviométrie maximale journalière (77,6 mm) du 11 décembre a une période de retour de 77 ans, alors que pour la station de Ben Arous, la pluie maximale journalière observée (152 mm) a une période de retour de 125 années. Quant aux pluies de septembre elles ont une période de retour dépassant le millénaire.

Ces événements remarquables sont liés à la rupture de la circulation atmosphérique zonale au profit d'une circulation méridienne. Ainsi, des situations météorologiques largement différentes de la configuration normale se sont formées. Ces situations sont caractérisées par un régime à caractère dépressionnaire associé aux courants chauds du secteur Sud à Sud-Ouest. Des perturbations associées à ces dépressions au sol touchent pleinement la partie orientale de la Tunisie (à des degrés différents) par son front froid. En altitude la moyenne et la haute troposphère sont dominées par une dorsale sur la méditerranéenne occidentale permettant des intrusions froides au niveau de la Tunisie sur une grande épaisseur et donnant une structure inhabituelle de la troposphère sur ces régions. Certes, ce froid active les dépressions génératrices des pluies extrêmes (fig. 5 et 6).

Fig. 5 : Situation à la surface le 17/9/2003



Fig. 6 : Situation à 500 hPa le 17/9/2003



Conclusion

Les pluies des mois de septembre et celles de décembre 2003 sont exceptionnelles sur toutes les échelles. Les pluies de 17 septembre et du 11 décembre disposent des périodes de retour dépassant de loin la centennale. Les situations de "retour d'Est" qui sont d'habitude à l'origine des événements pluviométriques exceptionnelles sur la Tunisie orientale et centrale touchent au cours de l'automne et de l'hiver 2003 le Nord Est et essentiellement la région du Grand Tunis. L'importance des dégâts matériels et humains est liée non seulement aux fortes pluies, mais aussi à des facteurs anthropiques.

Références bibliographiques

D.G.R.E ; 2003 : Situation pluviométrique en Tunisie à la fin du mois de septembre et de décembre 2003 (Note interne) Tunis, 16 p.

HAJJEJ. M ; 2004 : La gestion des situations météorologiques extrêmes du mois de septembre 2003 in : recueil des présentations du séminaire sur le temps, le climat et l'eau à l'ère de l'information. Tunis, 12-15 p.

HENIA. L et El MELKI. T ; 2000 : Circulation de "retour d'Est" et pluies diluviennes sur la Tunisie orientale. Publication de l'A.I.C. 2000. Volume 13, p120-127.

ÉVOLUTION DES PÉRIODES DE SÉCHERESSE ET D'ARIDITÉ AU SUD DES ALPES SUISSES DURANT LE 20^E SIÈCLE

J.-M. Fallot et L. Bertini-Morini

Institut de Géographie, Université de Lausanne, BFSH2, Lausanne, Suisse

E-mail : jean-michel.fallot@igul.unil.ch

Résumé : L'étude des séries de mesures pluviométriques faite pour 9 stations au Sud des Alpes suisses depuis 1901 montre que la fréquence des périodes de sécheresse et d'aridité tend à augmenter durant le 20^e siècle dans cette région.

Mots-clés : sécheresse, aridité, Sud des Alpes suisses, 20^e siècle, situations météorologiques, classification de Hess-Brezowsky.

Abstract: The study of precipitation time-series carried out for 9 stations in the southern Swiss Alps shows that frequency of drought and aridity periods gradually increase in this region during the 20th century.

Key-words: drought, aridity, southern Swiss Alps, 20th century, meteorological situations, Hess Brezowsky classification.

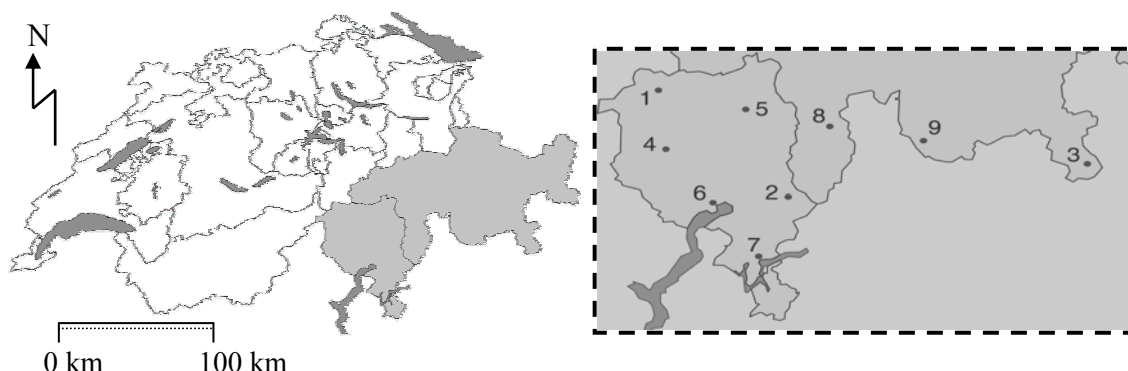
Introduction

Plusieurs auteurs pensent que le réchauffement actuel et futur du climat devrait notamment s'accompagner d'une hausse de la fréquence des épisodes de sécheresse dans différentes régions du monde, en particulier dans le Sud de l'Europe. Une telle hausse serait déjà perceptible au Sud des Alpes suisses durant le 20^e siècle (Rebetez, 1999) et cela pourrait poser des problèmes au niveau de l'approvisionnement en eau et des incendies de forêts dans le futur. Pour s'en assurer, nous avons comptabilisé le nombre de jours figurant dans des périodes de sécheresse et d'aridité durant le 20^e siècle pour 9 stations (fig. 1) réparties sur l'ensemble du versant Sud des Alpes suisse et ayant fonctionné sans interruption depuis 1901.

1. Evolution du nombre de jours de sécheresse et d'aridité

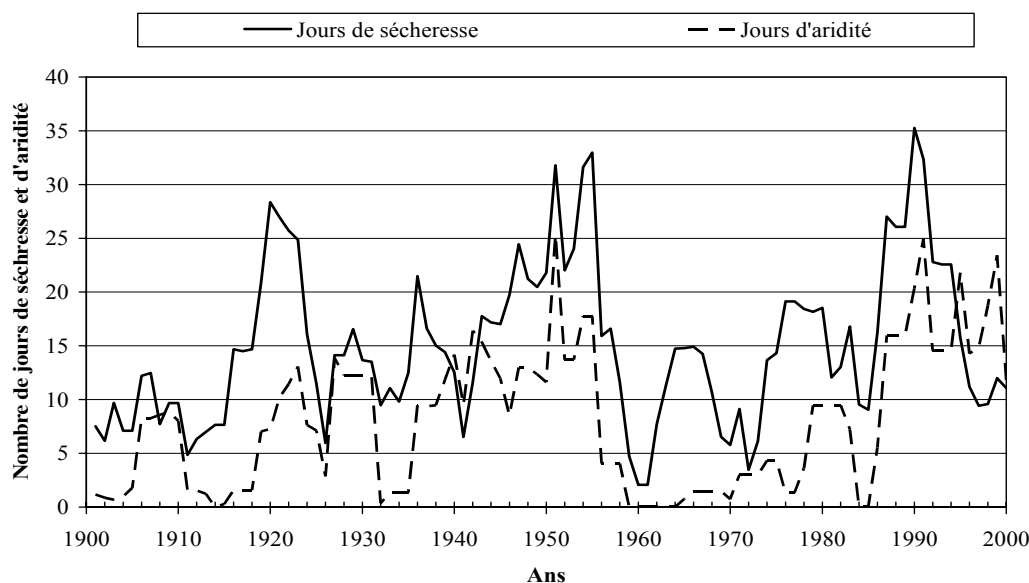
Les résultats montrent que le nombre de jours de sécheresse et d'aridité fluctue énormément d'une année à l'autre, mais qu'il tend néanmoins à augmenter dans cette région durant le 20^e siècle (fig. 2), même si cette hausse n'est pas significative. Dans le même temps, le nombre de jours avec des précipitations tend à diminuer légèrement (baisse non significative). Les périodes de sécheresse et d'aridité se rencontrent surtout en hiver au Sud des Alpes suisses, alors qu'elles sont pratiquement inexistantes en été contrairement au bassin méditerranéen, car le versant Sud des Alpes en Suisse est très exposé aux pluies de convection (orages) en saison chaude. Toutefois, les précipitations moyennes en hiver et durant l'année tendent aussi à légèrement augmenter durant le 20^e siècle, ce qui limite les conséquences négatives d'une hausse des épisodes de sécheresse et d'aridité au Sud des Alpes suisses.

Fig. 1 : Localisation de la région et des localités étudiées (canton du Tessin et les vallées italophones du canton des Grisons, à droite) en Suisse



Légende :	1 = Airolo (1149 m)	2 = Bellinzona (226 m)	3 = Brusio (830 m)
	4 = Cevio (418 m)	5 = Comprovasco (575 m)	6 = Locarno-Monti (379 m)
	7 = Lugano (276 m)	8 = Mesocco (815 m)	9 = Soglio (1100 m)

Fig. 2 : Evolution du nombre de jours de sécheresse et d'aridité par an au Sud des Alpes de 1901 à 2000 : moyennes mobiles sur 5 ans.

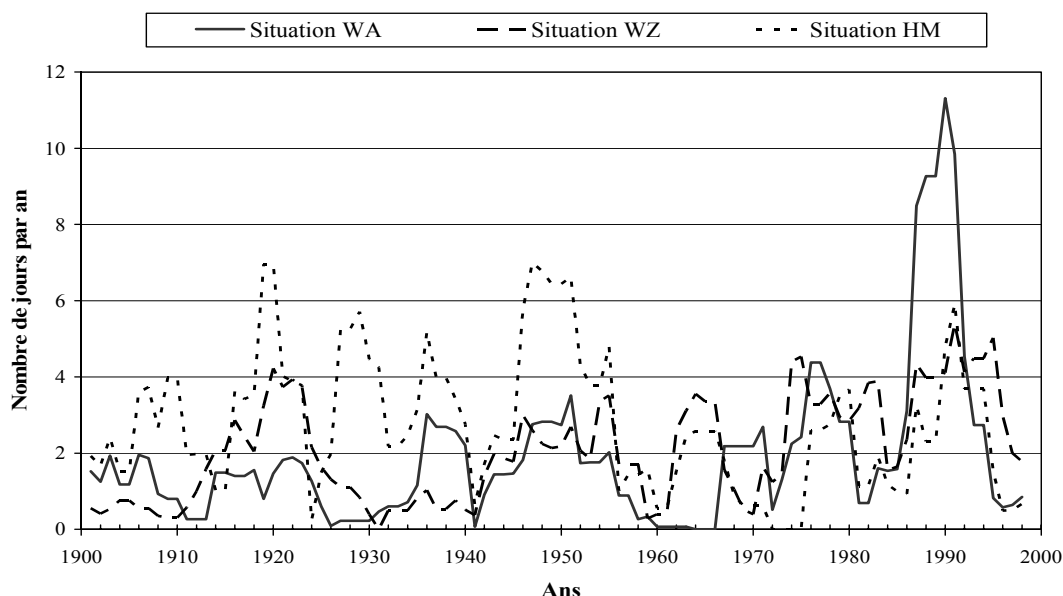


2. Situations météorologiques à l'origine des périodes de sécheresse et d'aridité

Nous avons ensuite identifié les situations météorologiques typiques les plus souvent présentes dans les périodes de sécheresse et d'aridité recensées, sur la base de la classification de Hess-Brezowsky effectuée tous les jours par l'Institut allemand de Météorologie depuis 1881. Cette classification distingue 30 situations météorologiques typiques pour le temps en Europe centrale (Gerstengarbe et Werner, 1993). Nous retrouvons le plus souvent dans ces périodes de sécheresse et d'aridité les situations avec un anticyclone sur l'Europe centrale (HM), ainsi que les situations d'Ouest anticyclonique (WA) et cyclonique (WZ). La présence des situations cycloniques d'Ouest (WZ) et du Nord-Ouest (NWZ) dans ces périodes peut paraître assez surprenante, mais elles provoquent assez

souvent un effet de foehn et un temps sec au Sud des Alpes (cf. figure 3 et tableau 1). Nous obtenons des résultats assez comparables pour les périodes d'aridité (Bertini-Morini, 2003).

Fig. 3 : Evolution du nombre de jours de sécheresse appartenant aux situations WA, WZ et HM de 1901 à 1998 : moyennes mobiles sur 5 ans



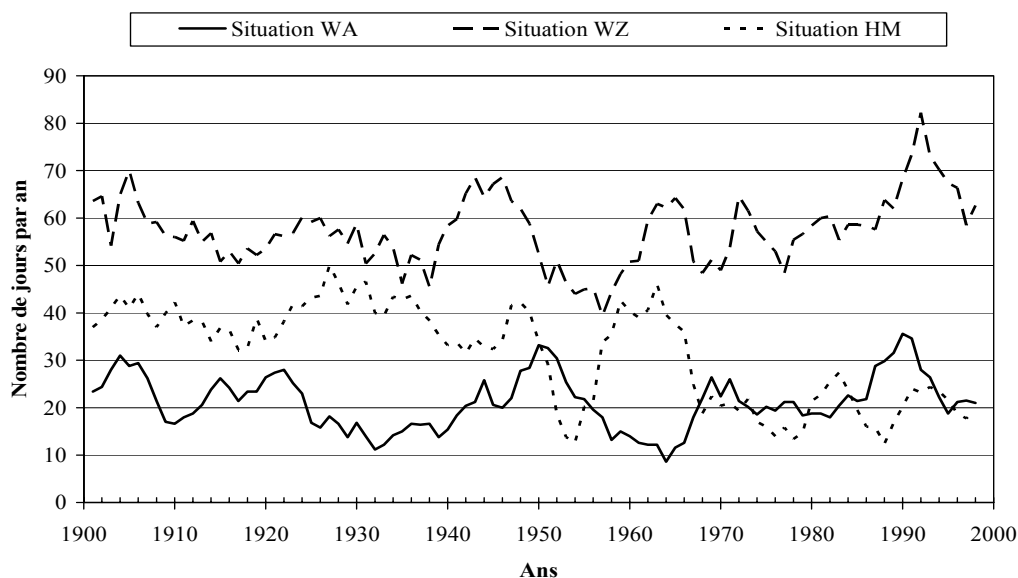
Tab. 1 : Fréquence d'apparition en % des situations météorologiques de Hess-Brezowsky le plus souvent rencontrées dans les périodes de sécheresse par rapport à leur fréquence d'apparition totale de 1901 à 1998.

Station	WA	WZ	SWA	NWA	NWZ	HM	BM	HB
Airolo	19.4	12.0	5.2	8.6	4.2	20.0	12.0	4.6
Bellinzona	13.9	14.5	3.8	7.2	8.0	20.4	7.3	5.6
Brusio	10.3	15.0	3.0	6.5	7.1	17.2	9.5	7.4
Cevio	14.1	11.0	4.3	6.9	6.3	19.9	6.9	6.7
Comprovasco	14.9	11.7	4.7	9.9	5.6	20.8	8.3	8.9
Locarno-Monti	14.4	15.2	4.0	7.0	8.4	20.0	7.4	5.7
Lugano	14.5	18.7	3.5	7.9	8.2	15.4	7.4	5.5
Mesocco	11.7	12.2	4.4	6.6	8.2	16.8	9.0	7.6
Soglio	9.7	13.0	2.9	6.7	5.5	18.7	10.2	7.6

Légende :
 HB = Anticyclone sur les Iles Britanniques
 WA = Situation d'Ouest anticyclonique
 SWA = Situation du SO anticyclonique
 NWZ = Situation du NO cyclonique
 BM = Pont de haute pression sur l'Europe centrale
 WZ = Situation d'Ouest cyclonique
 NWA = Situation du NO anticyclonique
 HM = Anticyclone sur l'Europe centrale

La comparaison entre les figures 3 et 4 montre que l'augmentation du nombre de jours de sécheresse et d'aridité observée au Sud des Alpes durant le 20^{ème} siècle est liée à un accroissement de la fréquence d'apparition globale des situations d'Ouest cyclonique (WZ) et à un nombre croissant de situations d'Ouest anticyclonique (WA) figurant dans des périodes de sécheresse et d'aridité. Par contre, les situations avec un anticyclone sur Europe centrale (HM) tendent à diminuer durant le 20^{ème} siècle aux détriments des situations avec un pont anticyclonique sur l'Europe centrale (BM).

Fig. 4 : Fréquence d'apparition totale des situations WA, WZ et HM durant le 20ème siècle : moyennes mobiles sur 5 ans



Conclusion

Les résultats obtenus par cette étude permettent de confirmer certaines observations faites par d'autres auteurs qui prévoient que le réchauffement du climat en Suisse s'accompagne d'une intensification des précipitations et d'une fréquence accrue des périodes de sécheresse et d'aridité, notamment au Sud des Alpes (Bader et Kunz, 1998 ; Rebetez, 2002).

Références bibliographiques

- BADER S. et KUNZ P., 1998 : Climats et risques naturels – la Suisse en mouvement. Rapport scientifique final PNR31. Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, éd. Georg, Genève, 312 p.
- BERTINI-MORINI L., 2003 : Sécheresse au Tessin ? Analyse statistique d'un siècle de données (01.01.1901-31.12.1999). Mémoire de licence, Institut de Géographie de l'Université de Lausanne, 80 p. (non publié).
- GERSTENGARBE F.-W. et WERNER P. C., 1993 : Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmut Brezowsky 1881-1992. Berichte der Deutschen Wetterdienstes n°113, Offenbach am Main, 249 p. (www.pik-potsdam.de/~uwerner/gwl).
- REBETEZ M., 1999 : Twentieth century trends in droughts in southern Switzerland. Geophysical research letters, Vol. 26, n° 6, March 15, pp. 755-758.
- REBETEZ M., 2002 : La Suisse se réchauffe. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Collection "Le Sarat", Lausanne, 140 p.

ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ ANTICYCLONIQUE POLAIRE HIVERNALE ET DE LA CIRCULATION AÉROLOGIQUE DE LA BASSE TROPOSPHÈRE DANS LE PACIFIQUE NORD DE 1950 À 2000

A. Favre¹ et A. Gershunov²

¹ Laboratoire de Climatologie Risques Environnement, Université LYON3, CNRS UMR 5600

e-mail : favre_alice@yahoo.fr

² Climate Research Division, Scripps Institution of Oceanography, UCSD

La Jolla, CA 92037-0224, United States

e-mail : sasha@ucsd.edu

Résumé : En raison du déficit thermique qui règne au dessus du Bassin Arctique toute l'année et particulièrement en hiver, des masses d'air polaire anticycloniques quittent les hautes latitudes et partent en direction de l'Equateur. A l'échelle synoptique, ces Anticyclones Mobiles Polaires ou AMP (M. Leroux, 1996) affectent les caractéristiques atmosphériques. L'objectif de cette étude est d'établir les relations entre la variabilité spatio-temporelle de l'activité des AMP et la Pression atmosphérique au Niveau de la Mer (PNM) ainsi que le vent à 10 mètres (v10m) dans l'espace aérologique du Pacifique Nord en hiver (JFM) au cours de la période 1950 à 2000. A partir des données moyennes journalières de PNM (NCEP-NCAR Reanalysis version 2), nous avons reconstitué les trajectoires des AMP. Ensuite, nous avons synthétisé les caractéristiques de ces trajectoires en valeurs mensuelles qui sont la fréquence, la pression, la vitesse de déplacement et le type de trajectoire. A partir de ces séries temporelles nous avons élaboré trois indices qui définissent l'activité anticyclonique polaire hivernale dans le Pacifique Nord. Enfin, nous avons calculé les corrélations temporelles entre ces trois indices et les anomalies des PNM et le v10m en hiver au cours de la période 1950-2000. Lorsque les AMP Béring/Alaska sont nombreux, les vents de Nord et les PNM sont plus forts que la normale sur le centre et l'Est du Pacifique Nord, alors qu'à l'Ouest et au Sud-Ouest les vents de Sud accompagnent des pressions plus faibles. On observe également que sur l'ensemble de la période (1950-2000) l'activité anticyclonique polaire a tendance à augmenter sur la partie occidentale du Pacifique Nord, contrairement à la partie orientale.

Mots-clés : Pacifique Nord, Anticyclone Mobile Polaire (AMP), pression au niveau mer (PNM), vent à 10 mètres (v10m)

Abstract: Because of the thermal deficit which reigns in Arctic Basin along the year and especially during winter season, polar anticyclonic air masses break out equatorward. At synoptical scale, that Mobil Polar Highs (MPHs, Leroux, 1996) affect atmospheric characteristics. The goal of this study is to establish relationships between the space-time variability of MPHs activity and Sea Level Pressure (SLP) and wind at 10 meters (w10m) in Northern Pacific aerological space during winter season (JFM) for the period 1950-2000. With daily SLP (NCEP-NCAR Reanalysis version 2), we have reconstructed the MPH tracks. Next, we have summarized their trajectories with monthly values which are frequency, pressure, velocity and type of trajectory. With this time series, we have computed three indices which characterized winter polar highs activity in Northern Pacific. Finally, we have calculated temporal correlations between that three indices and SLP anomalies and w10m during winter for the period 1950-2000. When Bering/Alaska MPH are numerous, northern winds and SLP are stronger than normal in the center and eastern Northern Pacific, on the other hand, in western and southwestern, southern winds are present with lower SLP. We observe too that along the period 1950-2000, polar highs activity trend to increases in western part of Northern Pacific unlike eastern part.

Key-words: Northern Pacific, Polar Mobil High (PMH), Sea Level Pressure (SLP), wind at 10 meters (w10m)

Introduction

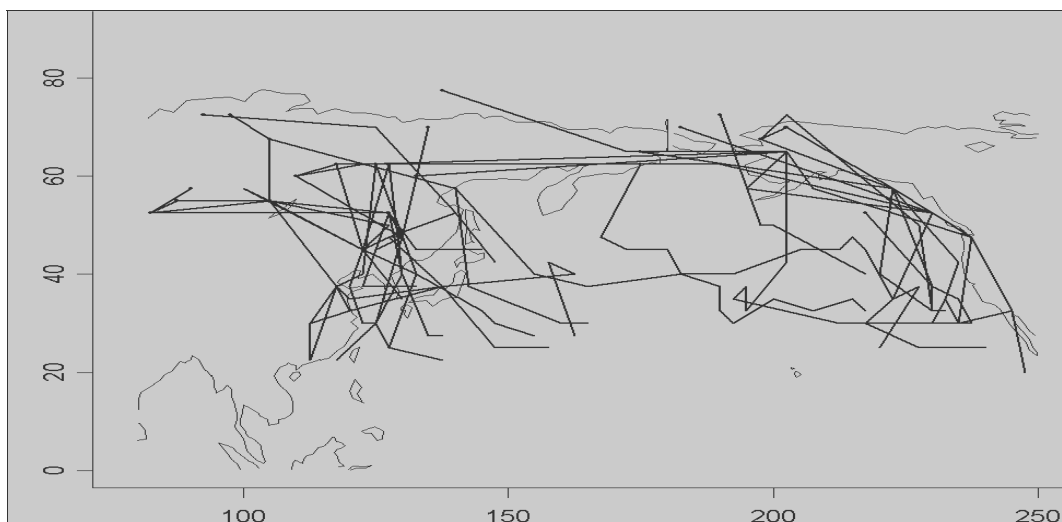
Dans l'espace aérologique du Pacifique Nord, la variabilité de la circulation atmosphérique est caractérisée par l'Indice Nord Pacifique (Trenberth et Hurrell, 1994) qui mesure la pression moyenne au niveau de la mer dans la zone 30N-65N, 160E-140W. Cet indice nous informe sur l'activité de la « dépression des Aléoutiennes ». Cependant, il ne rend pas compte précisément, de l'évolution des échanges méridiens, car sur cette zone, à l'échelle synoptique, circulent à la fois des Anticyclones Mobiles Polaires (AMP, Leroux, 1996) et leurs dépressions. L'objectif de cette étude est d'établir la relation entre l'activité anticyclonique polaire dans le Pacifique Nord et la circulation atmosphérique de la basse troposphère en hiver (JFM) au cours de la période 1950-2000.

1. Etablissement des trajectoires des AMP dans le Pacifique Nord de 1950 à 2000

A partir des données moyennes journalières de la Pression atmosphérique au Niveau de la Mer (PNM) (NCEP-NCAR, Reanalysis, version 2), nous avons développé une méthode d'établissement automatique des trajectoires et d'enregistrement des caractéristiques de chaque AMP, à l'intérieur de l'espace 80°Est-110°Ouest et 90°Nord et 0°, de 1950 à 2000. Les centres des AMP sont définis selon les postulats suivants:

- ils se situent dans la basse troposphère
- ils sont définis comme étant les maxima locaux de pression supérieurs à 1015 hPa
- la variation journalière de leur pression n'excède pas 15 hPa
- ils adoptent une trajectoire zonale avec une composante méridienne préférentielle vers le Sud
- leur vitesse de déplacement est inférieure à 40 km/h

Fig. 1 : Trajectoires des AMP en JFM 1999



La figure 1 est un exemple des trajectoires des AMP au cours de l'hiver 1999. On observe qu'ils sont majoritairement originaires des régions septentrionales de la Sibérie. Ils atteignent l'Océan Pacifique par les Mers d'Okhotsk, du Japon ou de Chine Orientale. Ensuite, ils adoptent soit une trajectoire méridienne et se dirigent vers la Mer des Philippines, soit une trajectoire zonale et partent en direction de l'Amérique du Nord. D'autres AMP transitent par la Mer de Béring et l'Alaska et ne concernent alors que la partie orientale du secteur. Cet exemple montre également la continuité aérologique entre les hautes et basses latitudes. Les AMP prennent naissance au nord de 50°N et terminent leur trajectoire vers 30°N.

2. Calcul des indices d'activité des AMP

Après avoir reconstitué les trajectoires des AMP, nous avons synthétisé leurs caractéristiques en valeurs moyennes mensuelles pouvant être regroupées en quatre types :

- fréquence des trajectoires ;
- pression atmosphérique atteinte au cours des trajectoires ;
- vitesse de déplacement ;
- type de trajectoire.

A partir de ces séries temporelles, nous avons réalisé une Analyse en Composante Principale (ACP), puis avec les coefficients des trois premières composantes, qui expliquent 32, 25, et 21% de la variance totale, nous avons élaboré trois indices qui définissent l'activité anticyclonique polaire hivernale dans le Pacifique Nord.

$$\text{Indice1} = 0.642 * \text{LonM} + 0.599 * F + 0.423 * \text{Latm} + 0.201 * \text{Lonm} \quad (\text{Figure n}^{\circ}2)$$

$$\text{Indice2} = 0.644 * \text{PM} + 0.58 * \text{Latm} + 0.411 * V - 0.25 * F - 0.116 * \text{LonM}$$

$$\text{Indice3} = 0.783 * V + 0.478 * \text{PM} + 0.382 * \text{LatM}$$

F = fréquence des AMP

PM = pression maximum atteinte par les AMP au cours de leur trajectoire

LonM = longitude maximum atteinte

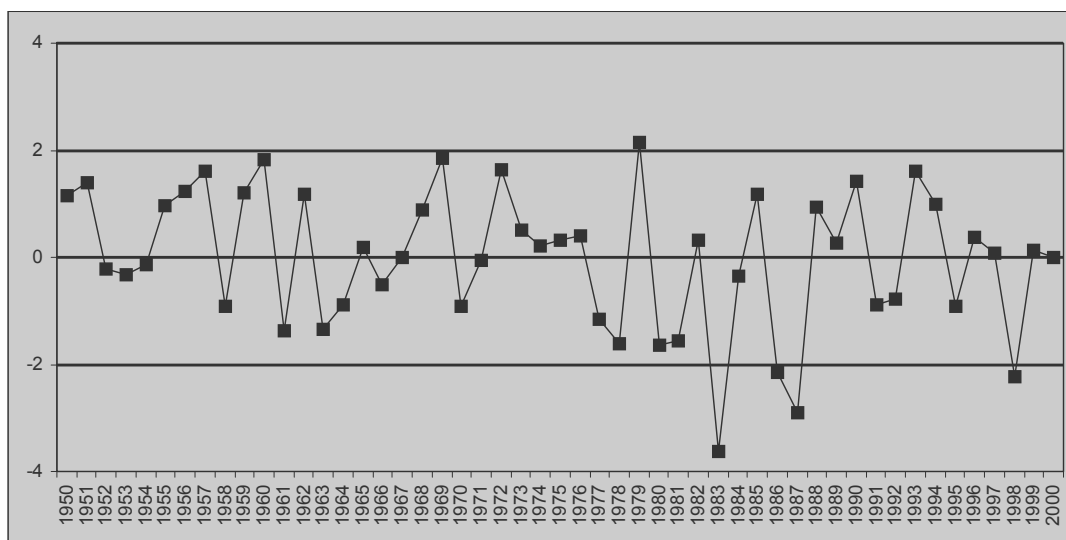
Lonm = longitude minimum atteinte

LatM = latitude maximum atteinte

Latm = latitude minimum atteinte

V = vitesse moyenne de déplacement

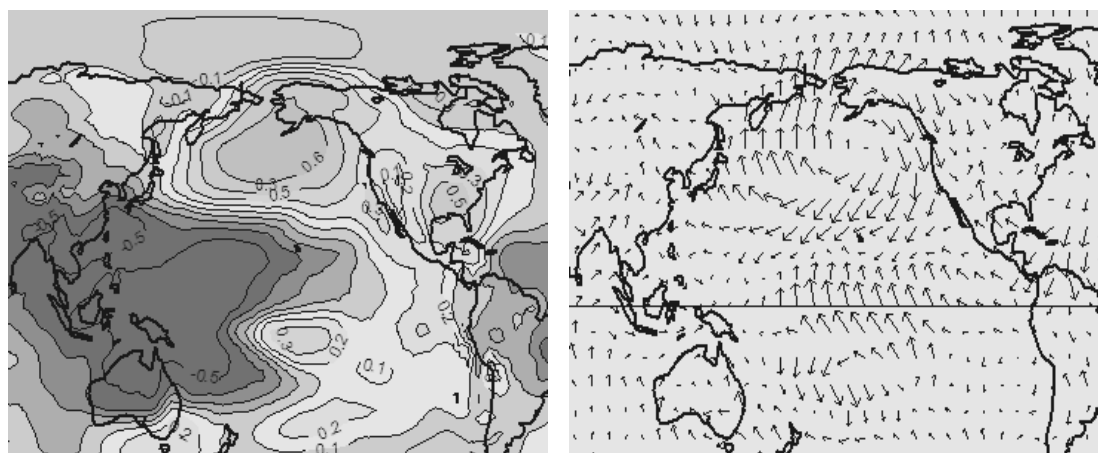
Fig. 2 : $\text{Indice1} = 0.642 * \text{LonM} + 0.599 * F + 0.423 * \text{Latm} + 0.201 * \text{Lonm}$ (JFM 1950-2000)



3. Relations entre l'activité des AMP et la circulation moyenne de la basse troposphère

Nous avons calculé les corrélations temporelles entre les trois indices d'activité des AMP et les PNM ainsi que la direction du v10m.

Fig. 3 et 4 : Corrélations temporelles entre l'Indice 1 et les PNM et la direction v10m



Lorsque les AMP de trajectoire Béring/Alaska sont nombreux et concernent surtout les régions septentrionales (Indice1), les vents de nord et les PNM sont plus forts sur le centre et l'Est de Pacifique Nord, alors qu'à l'Ouest, et au Sud-Ouest les vents de sud accompagnent des pressions plus faibles (Figures n°3-4). Des AMP peu nombreux, ayant une forte pression, une faible vitesse de déplacement et concernant surtout le Pacifique Nord-Ouest (Indice2) sont associés à une pression plus forte et des vents de nord sur l'ensemble de l'Asie orientale jusqu'en Indonésie. Enfin, des AMP présentant une forte vitesse de déplacement, ainsi qu'une forte pression et dont la naissance est plus septentrionale (Indice3) correspondent à une forte pression atmosphérique et des vents de nord sur l'ensemble du Bassin Arctique et de la Sibérie.

Conclusion

Cette étude nous permet tout d'abord de constater qu'au cours de la saison hivernale l'espace d'influence direct des AMP s'étend des latitudes polaires jusque dans les régions subtropicales. Ils adoptent préférentiellement des trajectoires méridiennes et terminent leur parcours vers 30°N. Leur centre n'est alors plus détectable, ils ne forment donc plus de masse d'air cohérente au niveau de la zone tropicale. De plus nous constatons la présence de deux espaces de fréquentation : les AMP asiatiques concernent majoritairement la façade occidentale du Pacifique Nord, tandis que les AMP Béring/Alaska la façade orientale. Cette distinction se retrouve dans l'Indice1 dont les corrélations avec les PNM et la direction du v10m font apparaître les mêmes structures que l'Indice Nord Pacifique. Une prochaine étude visera à établir la relation entre l'activité des AMP, des dépressions et l'Indice Nord Pacifique.

Références bibliographiques

- LEROUX M., 1996, La dynamique du temps et du Climat, Masson
TRENBERTH, K. E., J. W. HURRELL, 1994, Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, Climate Dynamics, 9, 303-319.

**LES « EXCÈS » MÉTÉO-CLIMATIQUES DE L'ANNÉE 2003
DANS LES GRANDS MASSIFS DES ABRUSSES ADRIATIQUE
(ITALIE CENTRALE)**

M. Fazzini

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara - Italia

email: fzzmsm@unife.it

Résumé : L'année 2003 sera rappelée pour le climat «extrême» qui a intéressé non seulement le bassin de la Méditerranée mais l'Europe entière, ce phénomène étant probablement provoqué par des anomalies « planétaires » dans les champs de pression et de températures des océans. Ces anomalies ont provoqué, sur les massifs des Abrusses un hiver froid et très neigeux (aussi sur la cote) et par contre une été presque désertique avec des températures moyennes et absolues très élevées ainsi qu'une sécheresse prolongée également en montagne.

Mots clé : champs de pression anormales, «talweg polaire», anticyclone africain, saisons extrêmes.

Abstract: The year 2003 will be reminded for its "extreme" climate that characterized non only the Mediterranean basin but the whole Europe, probably being caused by planetary anomalies in pression fields and ocean temperatures. In the massifs of the Abruzzi Apennines, they caused a cold and very snowy winter (along the coast too). On the other side, summer was almost desertic with very high average and extreme temperatures and a prolonged dry, also in the mountain sector.

Keywords: anomalous pressure fields, polar vortex, African anticyclon, extreme seasons.

Introduction

L'année 2003 a présenté des caractéristiques météo-climatiques pas communes pour l'ensemble du bassin de la Méditerranée, à cause de la persistance ou de la forte influence de champs de pression anormaux durant les diverses saisons.

1. L'hiver polaire

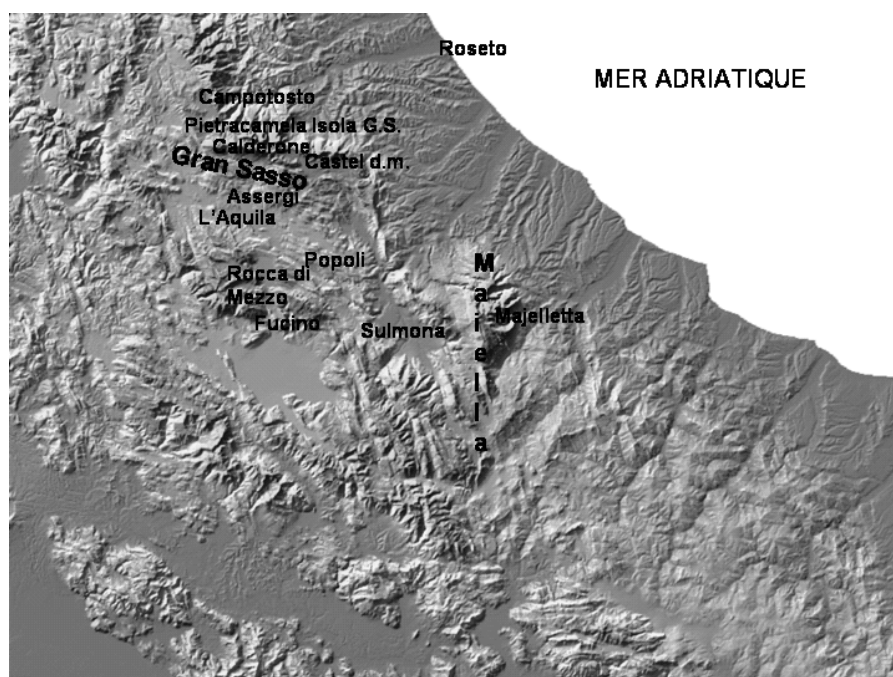
A partir de décembre 2002, plusieurs advections d'air polaire continentale sont intervenus, apportées par l'anticyclone de Russie, en expansion vers les Balkans ; de la même manière, on a enregistré un nombre considérable de talwegs « méditerranéens », probablement dus aux hautes températures des eaux sur l'ensemble du bassin. Les flux de Bora - très froids et assez humides - ont déterminé sur le versant adriatique de la péninsule italienne des températures sous la moyenne en février et mars (tab.1) et plusieurs épisodes avec neige abondante, surtout sur les versants «au vent » des grands massifs de l'Apennin central (fig.1 et 3). A la même altitude, les températures y ont été de 1 à 1,3°C plus froides que sur les versant sud et ouest ; on y a calculé un gradient thermique vertical moyen de 0,61°C/100 mètres, avec un coefficient de corrélation proche de 1. Par contre, sur les versants sud et ouest, le gradient thermique moyen a été le même, mais le coefficient est plus bas (0,79) et plus marqué aux hautes altitudes. Cette différence est due à la persistance des vents très forts de nord-est, qui ont apporté un refroidissement généralisé sur le versant oriental tandis que, dans les vallées les plus internes, les mêmes vents ont été plus faibles et durant les nuits sans nuages, il y a eu plusieurs phénomènes d'inversion thermique (Fazzini et Bisci, 1999).

Tab.1 : Valeurs thermométriques de l'an 2003 aux différents versants des grands massifs des Abrusses – Min: température minimale absolue en °C, Max: température maximale absolue en °C, Med : Température moyenne de l'an 2003 en °C. * valeurs extrapolés

STATION	ELEV	Jan	Fev	Mars	Juin	Juil	Aout	Min	Max	Med	Ampl
ROSETO	51	8,3	5	10,7	27	27,1	28,9	-4,3	41	16,2	23,9
ISOLA G.S.	553	5,4	1,4	8,4	23	24,4	25,4	-11,5	38	13,3	24,0
PIETRACAMELA	1000	3	-1,7	5,8	21	22,3	22,5	-16	34	10,6	24,2
CAMPOTOSTO	1408	0,4	-4	3	18,1	19,1	20	-17,6	30,4	8,7	24,0
GLACIER "CALDERONE"	2433	-5,8	-10	-3,2	11,39	13	13,9	-31	25		
HAUTEUR 0°C VERSANT NE					4351	4591	4741				
POPOLI	250	6,1	2,5	8	25,8	27,7	27	-12	40,7	15,7	24,5
L'AQUILA	726	4,5	1,2	8,4	22,3	23,9	24	-11	37	13,3	22,8
ASSERGI	1100	3,7	-0,3	6,7	21,1	23,6	23,7	-14,2	34,9	10,7	24,0
CASTEL DEL MONTE	1314	0,8	-2,2	4,3	19,2	20,6	21,6	-16,6	32	9,3	23,8
GLACIER "CALDERONE "**	2433	-5,9	-8,9	-2,4	13,94	15,3	16,3				
HAUTEUR 0°C VERSANT SO					5314	5697	5910				

Au mois de février on a aussi enregistré des records absolus de température sur les plateaux internes, avec un valeur minimale de -26°C à Rocca di Mezzo-Monte Sirente – 1403 m.s.n.m. (CFS – METEOMONT) Cette température est la plus baisse jamais enregistrée dans l'Italie péninsulaire. Plus généralement, tout le territoire des Abrusses a présenté des valeurs inférieures de 3-5°C à la moyenne.

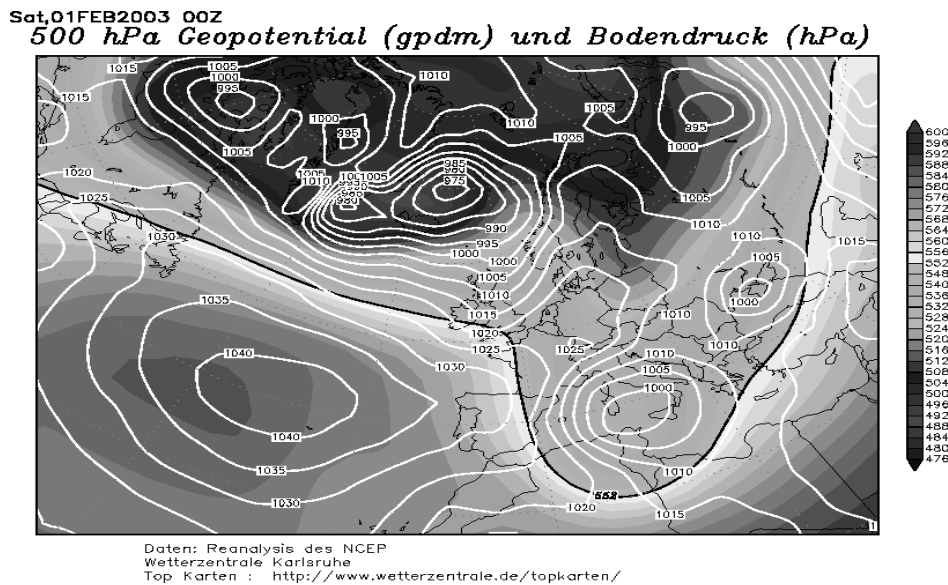
Fig.1 : Orographie de l'aire étudiée et position des stations météorologique



De la même manière, il est évident que les situations de froid très intense avec des précipitations neigeuses abondantes aussi sur les cotes adriatiques ne sont pas toujours directement liés à une situation de NAO négative. La condition synoptique idéale est plutôt liée à la descente vers la méditerranée du « talweg polaire » au niveau de 500 et 700 hPa et à a persistance simultanée des deux centre de pression : talweg méditerranéen et anticyclone continentale (fig. 2). Donc, très souvent, la pression au sol est haute sur l'Espagne et négative sur l'Atlantique septentrional.

Les précipitations neigeuses ont été particulièrement abondantes durant toute la période janvier-avril et à 1500 mètres d'altitude environ, dans les grands massifs, on a calculé des cumuls de neige fraîche jusqu'à 550 centimètres, contre environ 230-260 cm en moyenne (Bisci et al, 2003). Plus particulièrement, sur les pentes nord des deux massifs (Prati di Tivo -1433 m. et Maielletta – 1650 m), on a calculé plus de 150 jours avec neige au sol et, à Maielletta, presque 80 jours avec un manteau neigeux supérieur à 200 cm.

Fig.2 : Champs de pression au sol et à 500 hPa du 1^{er} février (NCEP)

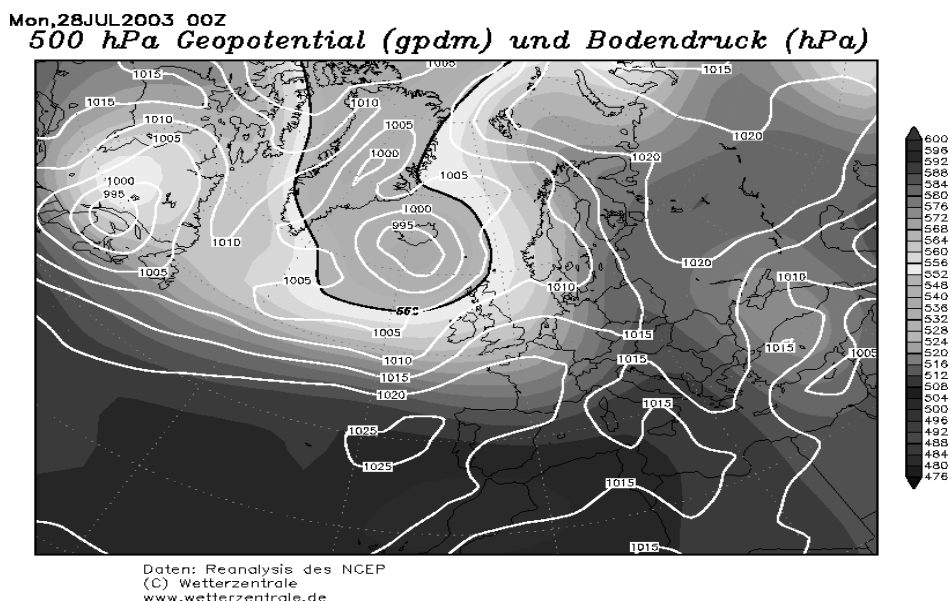


2. L'été « africain »

A partir de la fin de mai et jusqu'à la fin août, le champ de pression sur le méditerranéen centrale a été dominé par l'anticyclone africain (fig.3) ; cette structure, présente à tous les niveaux de la troposphère, a amené sur l'Italie centrale des conditions climatiques de type sub-désertiques avec des températures africaines et une absence presque totale de précipitations. Dans les plaines internes les plus déprimées et au fond des vallées les plus importantes, à cause du fort échauffement durant le jour, les valeurs maximales ont toujours atteint les 32-34°C, et les températures absolues se sont rapprochées de 45°C. La station météo du Glacier du Calderone – 2433 m.s.n.m., au massif du Gran Sasso - (le plus méridional d'Europe) a enregistré plus de 10 jours avec une température maximale supérieure de 20°C, et une valeur absolue de 25°C le 30 août (tab.1, Dramis et al, 2003). L'altitude de l'isotherme de 0° C a été presque toujours au-dessus de 4200 mètres et durant quelques jours, en juin (le 13), en juillet (du 25 au 30) et en août (le 13, 14 et 30) proche de 5500 mètres. Les températures moyennes saisonnières ont été comprises entre 27°C sur la côte adriatique, 22°C à 1000 mètres et 28-29°C au fond des vallées et sur la côte, avec un excédent de 4-6°C par rapport à la moyenne. La persistance de conditions anticycloniques et le caractère de la masse d'air, très chaude mais surtout très sèche, a défavorisé soit les précipitations de type frontal, soit celles orageuses convectives ou adventives, qui ont été très rares aussi à proximité des grands massifs. Les déficits saisonniers des pluies ont été compris entre le 50% sur la côte et environ 80% sur les reliefs.

Après un automne assez moyen et pluvieux avec une prédominance du flux atlantique, aux premiers jours de décembre et à Noël deux nouveaux talwegs d'origine continentale ont apporté des très abondantes chutes de neige et des températures fortement négatives aussi aux altitudes collinaires avec un mort de froid dans le massif du Gran Sasso.

Fig.3 : Champ de pression au sol et à 500 hPa du 27 de Juillet (NCEP)



Conclusions

D'un point de vue thermique, en climat continental, ces deux saisons « extrêmes » se sont traduit par une amplitude annuelle moyenne supérieure à 20°C (aussi sur la côte adriatique, contre 14-18°C en moyenne) et par des valeurs absolues de plus de 50 degrés centigrades (Conque de Sulmone et plaine du Fucino). Par contre, les températures moyennes n'ont pas présenté des différences substantielles par rapport à a moyenne 1961-2000.

Par contre, la répartition annuelle des précipitations, très abondantes dans la période novembre à mars et presque absentes en été, a été typique du domaine climatique « méditerranéen ». Celui-ci s'observe, en général, seulement au sud du promontoire du Gargano (Apulie).

Références bibliographiques

FAZZINI M., BISI C. & DE LUCA E (1999) : "Clima e neve sul massiccio del Gran Sasso" : in "Neve e Valanghe" A.I.NE.VA – Trento – (36), 36-45

BISI C., DRAMIS F., FAZZINI M & GUGLIELMIN M (2003) – "Climatic condition and sporadic permafrost in the Maiella Massif (Central Apennines,Italy.) Geogr.Fis.Dinam.Quater. (26), 3-13

DRAMIS F, FAZZINI M., PECCI M & SMIRAGLIA C (2004) – "The geomorphological effects of global warming in the Calderone Glacier Area (Central Italy Apennines)" – IAG International Symposium Proceedings, 111-117

CFS – SERVIZIO METEOMONT – Roma, données inédites

LES TEMPERATURES EXCEPTIONNELLES DE L'ÉTÉ 2003 ENREGISTRÉES A L'OBSERVATOIRE FABRA (BARCELONE)

L. Gomez, J.M. Raso, J. Martin-Vide, M^a.C. Moreno et M. Prohom

Grop de Climatologia, Universitat de Barcelone

email: lgomeznararro@ub.edu

Résumé : Les enregistrements de température journalière, maximale, minimale et moyenne atteints pendant les mois de l'été 2003 ont été extraordinaires. Les valeurs particulières des différentes journées apparaissent comme extrêmes, mais le fait le plus marquant est qu'il y a des séquences allant jusqu'à 10 jours consécutifs ou plus avec des températures maximales qui dépassent le neuvième décile et que les valeurs moyennes des mois de juin et août diffèrent des normales de plus de 5°C.

Mots-clés : températures d'été, 2003, seuils, séquences, période de retour, exceptionnel.

Abstract: Extremely high daily maximum, minimum and mean temperatures were registered during the summer of 2003 in Barcelona. Apart from extraordinary isolated daily values, the most relevant aspect was the persistence of the phenomenon with sequences of ten or more days with maximum temperatures exceeding the 90th percentile threshold. Additionally, the mean during the months of July and August departed from the normal values more than 5°C.

Key-words: summer temperatures, 2003, threshold, sequence, return periode, exceptional

Introduction

Les températures des mois de juin, juillet et août 2003 ont été vraiment exceptionnelles, avec de graves conséquences, spécialement l'augmentation de la mortalité sur la normale. Dans ce contexte général en Europe, l'Espagne et, en particulier, la ville Barcelone, ont aussi souffert de cette séquence extrêmement chaude. Ci-après, on évaluera statistiquement le caractère exceptionnel de l'été 2003, non seulement chaud de manière persistante au cours de ses trois mois mais aussi très anormal dans ses valeurs moyennes par rapport à la série de base de l'observatoire Fabra (1914-2003), à Barcelone.

1. Données et méthodes

Les enregistrements journaliers analysés proviennent de l'observatoire Fabra, situé à 420 m d'altitude, près de la ville de Barcelone, avec une série complète de températures journalières depuis octobre 1913. La longueur de la série journalière complète nous permet d'établir des comparaisons entre ce qui s'est passé pendant l'été 2003, objet d'étude, et ce qui s'est passé depuis 1914. On a calculé les valeurs statistiques, quintiles et déciles pour bien connaître les valeurs extrêmes et les différents seuils (le neuvième décile, par exemple) de la série complète à niveau journalier. De plus, on a calculé aussi le percentile 95 afin de pouvoir distinguer les journées chaudes et, avec le neuvième décile, montrer son évolution au long des 90 étés de la série. Ainsi, on a considéré la distribution temporelle de ces jours-là, c'est à dire, si les registres élevés ont été isolés ou s'ils ont eu lieu lors de journées consécutives et, dans tel cas, de quelle durée. Cette caractéristique de groupement de jours chauds et très chauds, pendant de longues séquences consécutives, donne la dimension exacte des conséquences présumées dans de nombreux domaines.

On a eu recours à divers indices, expliqués ci-après, afin de caractériser les registres de l'été 2003 avec la plus grande exactitude :

- HWDI (Heat Wave Duration Index). Série d'au moins 6 jours consécutifs durant lesquels l'inégalité suivante se réalise: $TX_{ij} > TX_{norm} + 5$, où TX_{ij} est la température moyenne correspondante au jour i de la période j , et TX_{norm} représente la moyenne journalière calculée pour des fenêtres de cinq jours centrées dans chaque date de la période 1961-90 (Klein, T. et al., 2002)
- TG90p (Warm Days). Nombre de journées où la température moyenne du jour se situe au-dessus de la valeur du neuvième décile, calculé avec une fenêtre de 5 jours où le jour de la date est au centre de la période de référence, selon l'expression $TG_{ij} > T_{ginorm90}$.
- TR (Tropical Nights). On parle de nuit tropicale quand la température minimale d'une journée est au-dessus de la valeur 20°C , comme le montre l'expression $T_{nij} > 20^{\circ}\text{C}$.

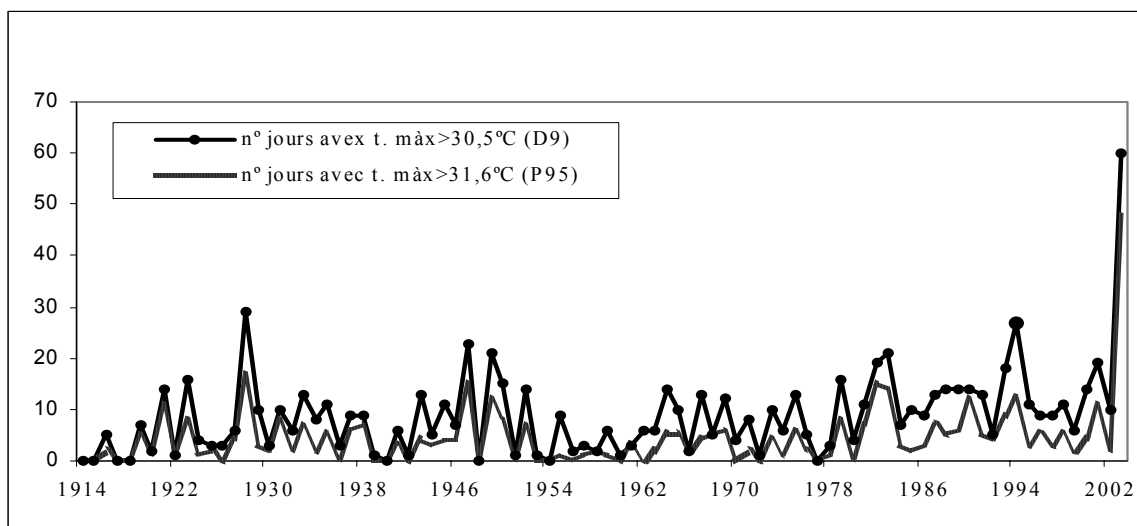
On a essayé d'ajuster à différentes lois statistiques les séries de valeurs enregistrées au cours de chacun des mois d'été entre 1914 et 2003 afin d'établir des périodes de retour de certaines températures.

2. Résultats

2.1 Températures maximales, minimales et moyennes: valeurs et séquences des jours chauds

Pendant l'été 2003, il y a eu 13 journées où l'on a enregistré des températures maximales au-dessus de 35° , sur un total de 40 occasions qui se sont produites depuis 1914. Sans doute, ce nombre de journées fait soupçonner que les températures estivales ont été exceptionnellement élevées, jusqu'à marquer $38,4^{\circ}\text{C}$ le 13 août. On ne bat pas, cependant, le record de l'observatoire que détient le 6 juillet 1982 avec $39,6^{\circ}\text{C}$. L'évolution du nombre de jours par an où l'on dépasse les seuils du neuvième décile ($30,5^{\circ}\text{C}$) ou celui du percentile 95 ($31,6^{\circ}\text{C}$) de la série complète montre comment l'été 2003 possède 60 jours durant lesquels on dépasse le neuvième décile et 48 le percentile 95 (figure 1), cela étant un volume inhabituel de journées (8,6 dans le premier cas et 4 dans le second).

Fig.1 : Evolution depuis 1914 jusqu'à 2003 des journées dont la température maximale dépasse le seuil établi par le neuvième décile ($30,5^{\circ}\text{C}$) et le 95ème percentile. Notez l'augmentation en 2003



Le reflet évident de ces journées de chaleur est le fait que, en 2003, elles n'apparaissent pas isolées mais en séquences de jusqu'à une dizaine de jours où l'on dépasse un seuil thermométrique déterminé. Les enregistrements des températures maximales montrent 6 séquences de 10 jours ou plus avec des valeurs supérieures à $30,5^{\circ}\text{C}$ (neuvième décile). La séquence la plus longue est constituée de 15 jours consécutifs qui dépassent le seuil indiqué, du 2 au 16 août 2003. Il faut aussi remarquer que ces 15 jours dépassent le seuil établi par le percentile 95 ($31,6^{\circ}\text{C}$). En bref, des 31 jours d'août, 25 ont marqué des températures maximales supérieures au neuvième décile (les 2, 16, 18 et 27 août) et 23 de ces 25 jours ont enregistré des valeurs au-dessus de $31,6^{\circ}\text{C}$.

En calculant le HWDI, on détecte un total de 53 jours avec des températures journalières qui atteignent l'inégalité $T_{xij} > T_{xnorm} + 5$ et, par conséquent, ces jours sont susceptibles de faire partie des vagues de chaleur, parmi ceux-ci, il y a 22 jours en juin, 5 jours en juillet et 26 jours en août. Cependant, en accord avec le critère antérieurement mentionné, selon lequel il faut la succession de six jours consécutifs ou plus qui satisfassent l'inégalité citée plus haut pour que l'on puisse considérer l'arrivée d'une vague de chaleur, on a seulement enregistré trois phénomènes de ce type. Un de 12 jours en juin et deux durant le mois d'août, de 15 et 6 jours respectivement, mais qui se sont maintenus pendant plus d'un tiers des jours du premier mois de l'été et plus des deux tiers du dernier (tab. 1).

Tab. 1 : Journées considérées comme appartenant à des vagues de chaleur, sous le critère de HWDI, pour chacun des mois de l'été 2003.

HWDI ($T_{xij} > T_{xnorm} + 5$)					
Juin		Juillet		Août	
Journées	Durée	Journées	Durée	Journées	Durée
1 juin	1	10 juillet	1	2 au 16 août	15
4 juin	1	12 au 13 juillet	2	18 au 20 août	3
6 au 17 juin	12	16 juillet	1	22 au 27 août	6
19 au 23 juin	5	21 juillet	1	29 au 30 août	2
25 au 26 juin	2				
29 juin	1				
Total	22	Total	5	Total	26

Si l'on prend la définition de jour chaud expliqué antérieurement (TG90p), et qui se base sur la valeur moyenne journalière, on détecte 28 journées en juin en seulement 3 séquences chaudes, 15 journées en juillet et de nouveau 28 en août, en 2 séquences chaudes dont les valeurs sont au-dessus du neuvième décile de chacune de ces journées par rapport à la série 1914-2002. Quant aux températures minimales, elles ont aussi enregistré des valeurs au-dessus des normales: si l'on accepte la définition mentionnée avant de nuit tropicale (TR), il en résulte que 78,3% de celles qui correspondent à cet été ont enregistré des minimales supérieures à 20°C et on peut les qualifier par conséquent comme telles. Les 73 nuits avec ces caractéristiques sont distribuées de la manière suivante: 21 nuits en juin (du 8 au 17 et du 20 au 30), 24 en juillet (du 8 au 31) et en 28 août (du 2 au 16 et du 18 au 30)

En conclusion, les mois de juin et d'août sont ceux qui ont enregistré des températures élevées de façon anormale, autant les maximales que les minimales, spécialement les journées comprises entre le 6 et le 17 et entre le 20 et le 30 juin et du 2 au 16 puis du 18 au 30 août. Par conséquent, les températures moyennes des deux mois augmentent de jusqu'à 5,6°C la température moyenne de la série de référence, de 1914 à 2002.

2.2 Probabilités d'apparition. Ajustages avec différentes lois

Les séries au niveau saisonnier montrent des résultats similaires: la température moyenne en été (1914-2002) est de 21,9°C mais celle de l'été 2003 la dépasse de presque 5°C., 26,8°C. Cette série montre un bon ajustement avec la distribution normale, avec une déviation type de 0,9°C. La probabilité que se produisent en juin des températures égales ou supérieures à 35,4°C entre les jours 21 et 25 est de 205 ans et la probabilité que se reproduise cette température un jour déterminé est de 619 jours, prenant en compte qu'il se produit un ajustage par loi normale et on prend comme période de référence 1914-2002. En considérant les 38,4°C du jour le plus chaud d'août 2003, la probabilité de retour un jour concret de cette température est de 8064 journées, avec les mêmes caractéristiques d'ajustement et de série de référence que dans le cas précédent. On a essayé d'ajuster le nombre et la longueur des séquences chaudes, prises dans les registres de température maximale journalière et on a

pris en compte le seuil du neuvième décile et du percentile 95, grâce aux chaînes de Markov. Le résultat, pour chaque seuil, est que le nombre et la longueur de ces séquences chaudes n'offrent pas, malgré l'inertie de la variable, d'ajustage acceptable selon χ^2 , à cause de la longueur excessive des séquences les plus longues, 15 journées.

Conclusion

On a étudié avec détail les températures enregistrées à l'observatoire Fabra (Barcelone) pendant l'été 2003, à partir de sa série complète 1914-2002. Pour les températures maximales comme pour les températures minimales, on a remarqué des valeurs mensuelles au-dessus des moyennes des séries, de jusqu'à 5.6°C. Les mois de juin et d'août ont enregistré des températures diurnes et nocturnes et, en séquences de jours consécutifs, extraordinairement chaudes, 22 journées en juin et 28 en août avec des enregistrements maximaux et minimaux très élevés. La période de retour des températures les plus élevées enregistrées pendant ces mois est de milliers de jours.

Références bibliographiques

GÓMEZ, L (1994): "Análisis de las singularidades térmicas en Barcelona. El caso de El Prat de Llobregat", VI Coloquio de Geografía Cuantitativa, Málaga, pp. 105-115.

KLEIN, T. et al. (2002) : Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. KNMI, De Bilt, the Netherlands, 36 pp.

VARIABILITÉ DES FACTEURS DU RISQUE CLIMATIQUE SUR LA CULTURE DU MAÏS AU BÉNIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

C. Houndenou¹, J. Pérard² et M. Boko¹

¹ Laboratoire d'Etude des climats des ressources en eau et de la dynamique des Ecosystèmes, Dpt de Géo. et d'Aménagement du Territoire FLASH, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin
e-mail : constant500@yahoo.fr

² Centre de Recherche de Climatologie, UMR 5080 CNRS « Climatologie de l'Espace Tropical », Faculté des Sciences Gabriel, Dijon

Résumé : A partir des enquête de terrain, et d'un outil de simulation du bilan hydrique (SARRA)^o, on procède à une étude comparative des situations agro climatique de deux variétés de maïs TZB-SRW (120 jours) et DMR-SRW (90 jours) durant les périodes 1931-1961 et 1961-1990. L'étude diagnostique des précipitations qui restent l'élément majeur de caractérisation du climat en milieu tropical montre que les trente dernières années sont caractérisées par une péjoration climatique. Une des conséquences de ce dérèglement climatique est la réduction sensible des différents indices de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM (%)) de la culture du maïs. La diminution de cet indicateur agro climatique reste encore plus sensible dans le sud du pays et au cours de la petite saison des pluies entre octobre et novembre. Dans l'actuel contexte climatique, huit années sur dix, le risque d'avoir de faibles taux de satisfaction des besoins en eau est plus élevé dans le sud-ouest du Bénin que dans le sud-est.

Mots Clés : Risque climatique, indice de satisfaction des besoins en eau ETR/ETM (%), péjoration climatique, Bénin

Abstract: From an investigation in south-Benin and with the help of simulation of water balance (SARRA) for two varieties of maize (120 and 90 days), we compare the agro climatic situations during the periods 1931-1960 and 1961-1990. The climatic diagnosis of the two rainy seasons (april-july) and (october–november) during 1961-1990 is characterized by climatic deterioration. The consequence of the climatic disorder is the decrease of water satisfaction index (ETR/ETM (%)) of maize. The decrease of this agro climatic indicator is very important in the south of the country and during the second rainy season. In the actual climatic context, 8 years out of 10, the venture to have poor rate of water satisfaction index is more important in the south-west of the country than the southern-east. So; the risk of water stress is permanent in the coastal zone of the south-west of the country

Key words: Climatic risk, water satisfaction index ETR/Etm (%), climatic disorder, Benin.

Introduction

Le Bénin est un pays sous-développé à 80 % rural , à vocation agricole situé dans le Golfe de Guinée entre 6°30' et 12°30' LN, 1° et 3°40' de LE avec une superficie de 112 622 km². Depuis 1960, le Bénin connaît une forte et manifeste variabilité climatique marquée par une baisse sensible du potentiel hydrique, une irrégularité continue et une mauvaise répartition des précipitations dont une des conséquences est une diminution de la production maïsicole. En réalité quelle a été l'impact de cette variabilité climatique sur la culture du maïs, céréale essentielle du sud Bénin ?

1. L'écosystème maïsicole du sud du Bénin : présentation géographique

L'espace maïsicole du Sud bénin est constitué du sud au nord d'une plaine côtière basse sablonneuse constituée de cordons essentiellement quaternaires sur laquelle est située la station de Grand-Popo, de plateaux de terre de barre argilo-sableux et conglomératique. D'ouest en est, la dépression médiane et argilo-marneuse de la Lama isole nettement l'ensemble des plateaux de Comè d'Aplahoué à l'Ouest, le plateau d'Allada, d'Abomey au centre, et celui de Porto-novo, et de Sakété-Pobè à l'est de la plaine côtière. Les sols qui constituent les supports des différentes civilisations agraires animées par les paysans sont développés sous régime bimodal. Ils sont généralement très profonds, peu résistants à l'érosion et ont une grande perméabilité (Azontondé, 1991). Leur évolution dépend entre autres de l'eau pluviale que reçoit le sud du Bénin au cours de la grande saison de mousson (GSP) entre avril et juillet, de la petite saison sèche (PSS) (d'août-septembre), et de la petite saison des pluies d'octobre-novembre (PSP). Toutes ces caractéristiques physiques synthétisées et la forte densité de population (200 hts/km²) constituent des atouts pour la maïsiculture dans le sud du Bénin.

2. Données et Méthodes

Les données utilisées météorologiques utilisées ont été obtenues à la Direction de la Météorologie Nationale à Cotonou et concernent les précipitations, les relevés thermométriques, et ceux susceptibles de caractériser, les ambiances agro climatiques maïsicoles. A partir d'analyses factorielles (ACP sans rotation varimax) et d'éléments de statistique descriptive, on caractérise la variabilité climatique. Les résultats issus de la climatologie diagnostique ont permis le calcul le bilan hydrique de la culture du maïs à partir du modèle de couplage et d'interface SARRA (Système d'Analyse Régionale des risques agro climatiques du CIRAD-AMIS. Le modèle a été renseigné et calé à partir des éléments d'enquête de terrain et mesures in situ sur les parcelles agronomiques de Niaouli et en milieu paysan. Les dates de semis ont été fixes et les coefficients culturaux (Kc) ont été recalculés à partir de l'abaque FAO (1975) ce qui a permis de déterminer la durée des différentes phénophases. en tenant compte de l'incertitude et des conditions climatiques du sud Bénin. La RU prise en compte a été fixée à 60 mm/m. Le seuil-référentiel de Dancette (1983) a été retenu pour caractériser les ETR/ETM (%)

3. Résultats

L'étude comparée de la variabilité des régimes pluviométriques au Bénin de (1961-1990) (1931-1960), montre que la petite saison des pluies (oct-nov) est marquée par une baisse significative du potentiel pluviométrique et une réduction de sa durée (tableau1). On note une grande modification des structures saisonnières marquée par une mobilité des pics saisonniers. Le sud du Bénin connaît aussi une petite saison sèche anormalement pluvieuse qui met la récolte de la grande saison des pluies dans une situation inconfortable (tab.1). D'où l'existence du risque potentiel de perte de récolte (Eldin, 1989). Dans l'ensemble sur toutes les stations, depuis 1970, la péjoration climatique se manifeste aussi par une fréquence élevée (68%) de faux démarrages de début de saison et des séquences sèches au cours de la période végétative et une réduction significative du nombre de jours de pluie (Houndénou, 1999).

Le diagnostic climatique montre une modification des structures saisonnières dont la conséquence est la diminution des indices de satisfaction des besoins en eau ETR/ETM (%) (figures1, 2, 3, 4). En effet, au sud du Bénin pour le maïs de 120 jours (TZB) cultivé au cours de la GSP, les taux de satisfaction des besoins en eau sont dans la plupart des cas inférieurs à 80% (seuil référentiel de Dancette, 1983) (figures 1 et 2).

Tab. 1 : Variabilité des régimes pluviométriques moyens au Bénin entre les périodes 1961-1990 ; 1931-1960 (significativité des résultats aux seuils de 1 et 5 % selon le Test de Student)
Les deux stations retenues sont en italiques : Grand-Popo et Sakété

STATIONS	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
CLIMAT BENINIEN												
	GSP			GSP				PSS		PSP		
ABOMEY	-		-	+	-	+	+	+	+	-	-	-
APLAHOUE	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-
<i>GRAND-POPO</i>	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+
OUIDAH	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-
PORTO-NOVO	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+
<i>SAKETE</i>	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+

■ Significativité au seuil de 5% ■ Significativité au seuil de 1%

GSP = Grande saison des pluies de mousson ; PSS = Petite saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies

Le risque de stress hydrique à la phase végétative existe entre 5 et 8 années sur 10 et surtout sur la période 1961-1990 (fig. 1 et 2).

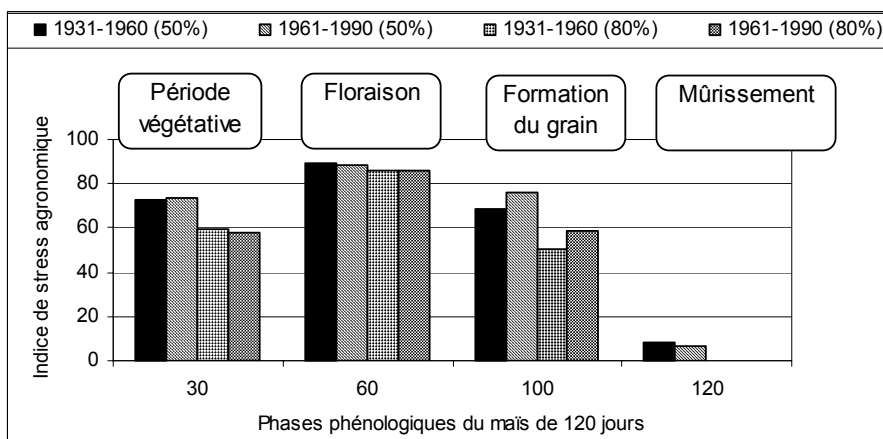


Fig. 1 : Variabilité ETR/ETM (%) durant la grande saison des pluies (Avril- juillet) (1931-1960) (1961-1990) à Grand-Popo

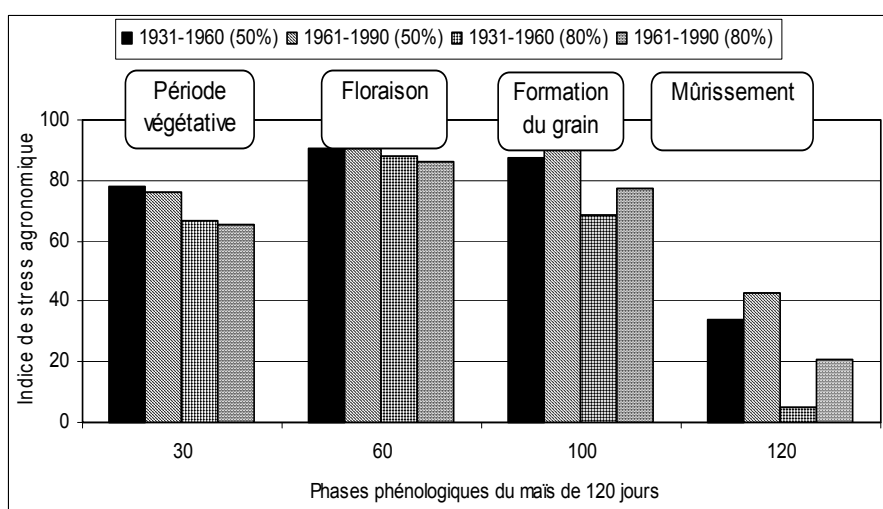


Fig. 2 : Variabilité ETR/ETM (%) durant la grande saison des pluies (Avril- juillet) (1931-1960) (1961-1990) à Sakété

Légende : les histogrammes en noir concernent la période 1931-1960 5 années/10 ; les histogrammes en rayures présentent la situation agro climatique 5 années/10 sur la période 1961-1990 ; les histogrammes en losange illustrent la situation agroclimatique 8 années/10 ; les histogrammes en carreaux indiquent la situation agroclimatique dans 80% des cas sur la période 1961-1990

En revanche à la floraison, les taux de satisfaction de besoins en eau sont partout supérieurs à 80% dans la vallée de l'Ouémé, au sud-est et dans le sud-ouest à Grand-Popo. A la formation du grain, on enregistre une baisse sensible du rapport ETR/ETM surtout dans le sud-ouest à Grand Popo dans 85% des cas sur la période 1931-1960. En revanche, de 1961-1990, on note une nette réduction de cet indicateur vers les dernières décades du cycle de la culture. La période de mûrissement, est marquée par une nette réduction de l'ETR/ETM (%) sur toutes les stations. Les taux de satisfaction des besoins en eau sont inférieurs au seuil de 60% d'est en ouest de l'espace maïsicole. La petite saison de culture, la période 1961-1990, est caractérisée par une baisse du taux d'indice de satisfaction des besoins en eau pour la DMR-SRW (90 jours). Au stade végétatif, le risque de stress hydrique existe et est permanent 5 et 8 années sur 10. L'ETR/ETM, a plus diminué en 1961-1990 qu'en 1931-1990. A, Grand-Popo, ces taux sont très bas et le maïs reste confronté à des problèmes de germination comparativement à Sakété où les taux sont supérieurs (figures 3 et 4). A la floraison, sur la côte au sud-ouest (Grand-Popo), dans la zone de déficit pluviométrique, 8 années sur 10, le déficit agro climatique est élevé par rapport au sud-est. A la formation du grain et à la période de mûrissement dans le sud-ouest et dans le sud-est, le déficit hydrique existe à la fin du cycle quelles que soient les grandeurs fréquentielles.

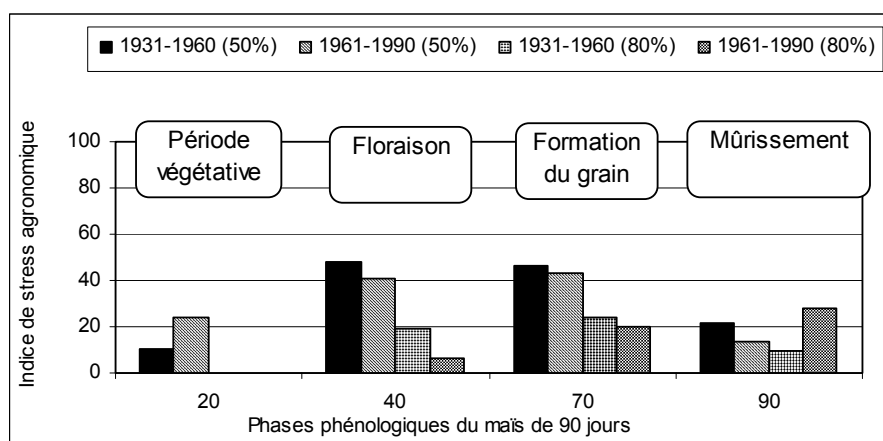


Fig. 3 : Variabilité ETR/ETM (%) au cours de la petite saison des pluies (octobre-novembre) (1931-1960) (1961-1990) à Grand-Popo

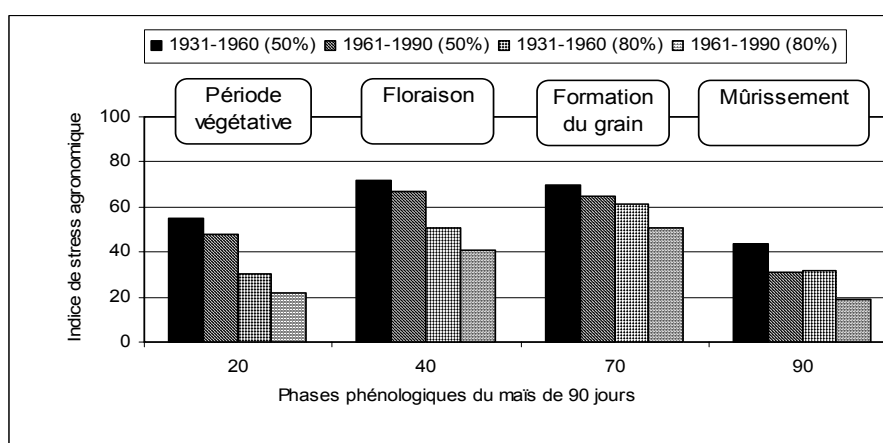


Fig. 4 : Variabilité ETR/ETM (%)v durant la petite saison des pluies (Octobre-novembre) (1931-1960) (1961-1990) à Sakété

Légende : les histogrammes en noir concernent la période 1931-1960 5 années/10 ; les histogrammes en rayures présentent la situation agro climatique 5 années/10 sur la période 1961-1990 ; les histogrammes en losange illustrent la situation agroclimatique 8 années/10 ; les

histogrammes en carreaux indiquent la situation agroclimatique dans 80% des cas sur la période 1961-1990

Conclusion

La caractérisation et la quantification des facteurs du risque climatique sur la culture du maïs dont l'ETR/ETM (%) confirme sur le plan éco physiologique l'existence des effets de la péjoration climatique dans le Golfe de Guinée. La variation de l'indice de satisfaction des besoins en eau à chaque phénophasse durant les périodes 1931-1960 et 1961-1990 5 et 8 années sur 10 montre l'existence du risque climatique potentiel dans le margino littoral béninois. Ce risque permanent est plus accentué au sud-ouest qu'au sud-est du pays et le maïs demeure plus stressé au sud-ouest qu'au sud-est au cours de la période 1961-1990, 8 années sur 10.

Références bibliographiques

- AZONTONDE (H.A.), 1991 : Propriétés physiques et hydrauliques des sols du Bénin. In Soil Water Balance in the sudano-sahelian Zone (proceedings of the Niamey Workshop, February. IAHS Publ. N° 199, 1991.
- DANCETTE (C.) 1983 : Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano sahélienne. In l'Agronomie Tropicale 31 (4), pp. 281-293
- ELDIN (M.), 1989 : Analyse et prise en compte des risques climatiques pour la production végétale. Le risque en agriculture. Editions ORSTOM. Collections Champs , pp 47- 63 Paris.
- FAO 1975 : Réponses des rendements à l'eau. Irrigation and drainage pper, 25.
- 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

RECHERCHE DE TENDANCES DANS LES SÉRIES PLUVIOMÉTRIQUES DU BASSIN BÉNINOIS DU FLEUVE NIGER (BÉNIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

C. S. Houssou¹, C. Houndenou¹, E. W. Vissin¹, M. Boko¹ et J. Pérard²

¹ Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en eau et de la Dynamique des Ecosystèmes.
Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin
e-mail : houssoucs@yahoo.fr.

² Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon

Résumé : L'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans le bassin béninois du fleuve Niger porte sur les chroniques de la période 1955-1992. L'analyse révèle une tendance générale à la baisse des séries pluviométriques du bassin béninois du fleuve Niger de 1955 à 1992. La baisse pluviométrique concerne les hauteurs mensuelles des mois de juin, juillet, août et septembre qui sont de moins en moins arrosés.

Mots clés : Afrique tropicale, Bénin, bassin du Niger, déficit pluviométrique.

Abstract: The study of the rainfall variability in the Beninese basin of the Niger river relates to the chronicles of the period 1955-1992. The analysis reveals a general tendency to the fall of the rainfall series of Niger basin in Benin of 1955 to 1992. The rainfall fall relates to the monthly heights of July, June, August and September which are less and less sprinkled.

Key Words: Tropical Africa, Benin, basin of Niger, rainfall shortage

Introduction

L'absence, la rareté, l'excès ou la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies sont générateurs de crises climatiques et économiques et très souvent aussi, d'instabilité sociale et politique. L'analyse des chroniques pluviométriques montre des ruptures de stationnarité sur l'ensemble de l'Afrique tropicale (Fontaine, 1985) ; au Bénin en particulier (Pérard et Bokonon-Ganta, 1993). La rupture la plus récente se situe vers 1970 et marque le début d'une période déficitaire (Vissin, 1998 et 2001). Après 1970, sur l'ensemble de la région et sur le bassin béninois du fleuve Niger (fig.1a), la pluviométrie a, en moyenne, baissé de 180 mm par rapport à la période antérieure à la période antérieure.

1. Méthodes

La méthode choisie est celle de l'interpolation linéaire. Cette méthode a permis d'estimer la pluviométrie mensuelle et annuelle au nœud d'une grille de 0°125 de côté couvrant l'ensemble de la région. Par un système de codage, on a récupéré la valeur des points de grilles appartenant à chacun des différents sous-bassins. La série (1955-1992) de 21 stations a été utilisée (fig. 1b).

L'étude des tendances pluviométriques et hydrologiques générales a été faite à partir du calcul des moyennes mobiles centrées sur 5 ans. Elle a permis d'avoir des séries hydrométriques et pluviométriques lissées sur les différentes stations et sur les différents sous-bassins au pas de temps mensuel et annuel.

Fig. 1a : localisation du domaine d'étude

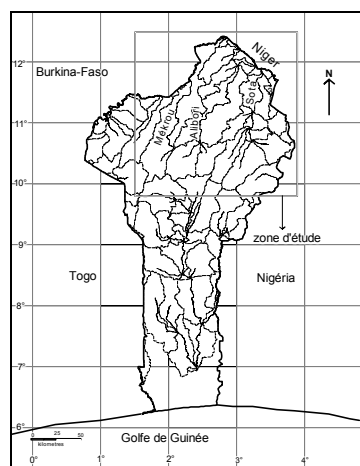
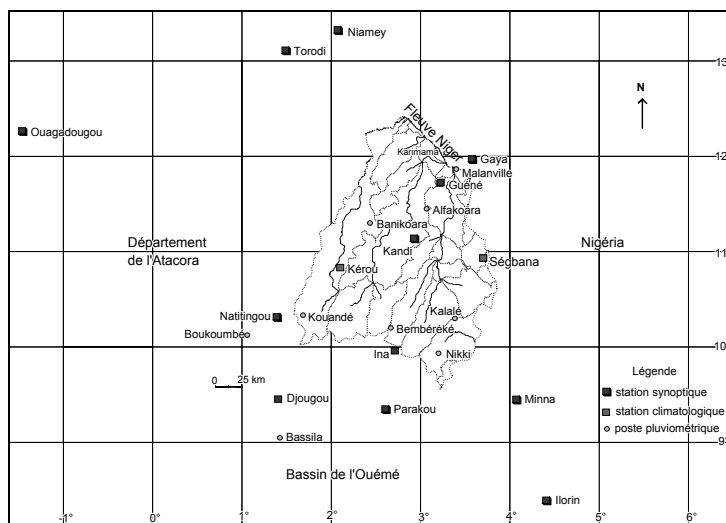


Fig. 1b : Réseau pluviométrique du bassin



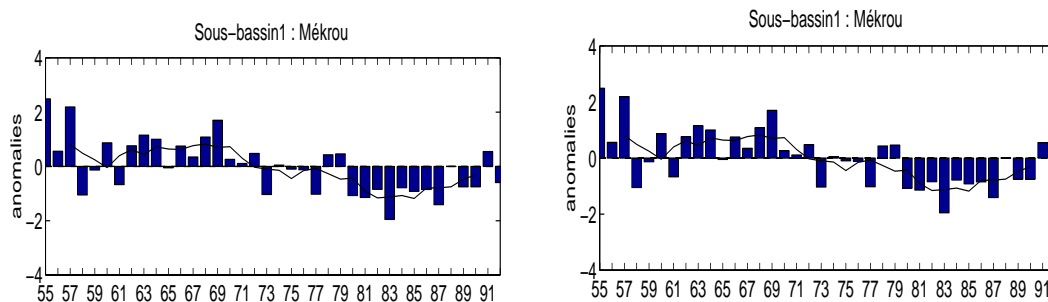
Une « rupture » de stationnarité a été recherchée. Elle peut être définie par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné (Lubès et al., 1994).

L'évaluation des déficits entre les 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. 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 de Student est utilisé pour comparer les hauteurs d'eau précipitée des deux périodes. Cette méthode nous a permis de caractériser et de valider les changements pluviométriques significatifs sur les périodes 1955-1972 et 1973-1992.

2. Résultats

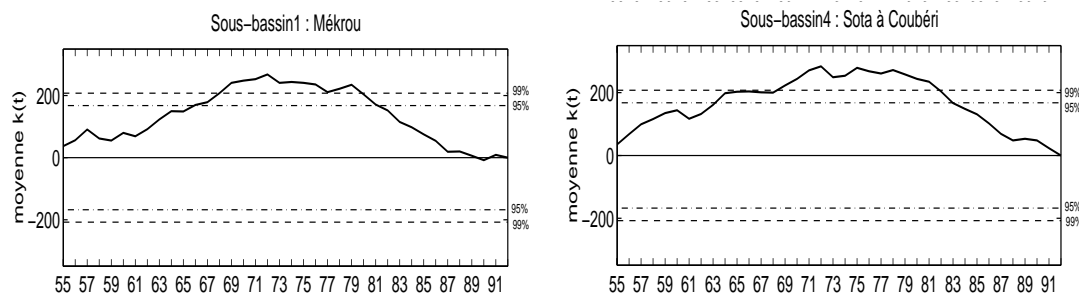
La figure 2 indique des déficits pluviométriques marqués par une première phase aiguë dans les années 1973 et 1974 (Olivry, 1993). Ces déficits n'ont jamais vraiment cessé, même s'ils ont varié en intensité et en étendue suivant les années. Une recrudescence sensible de la sécheresse s'est manifestée en 1983 et 1987. Les déficits restent la règle jusqu'à aujourd'hui, malgré la relative reprise vers la fin des années 1980. Les anomalies positives sont plus fréquemment observées avant 1972, avec certaines années (1957, 1962, 1969) marquées par un net excédent pluviométrique.

Fig. 2 : Evolution de la pluviométrie sur la période 1955-1992



L'application du test de Pettitt (fig. 3) sur la série 1955-1992 des sous-bassins souligne clairement la présence d'un changement en 1972 d'ailleurs déjà signalé par d'autres auteurs (Vissin, 2001 et 2002).

Fig. 3 : Mise en évidence de rupture de stationnarité par le test de Pettitt dans les séries pluviométriques



Le test de Mann–Kendall (fig. 4) permet de mettre en évidence une tendance décroissante significative au seuil de 5% dans l'ensemble des sous-bassins. Un seul changement a pu être identifié par ce test dans toutes les séries.

Fig. 4 : Mise en évidence de rupture de Stationnarité par le test Mann-Kendall

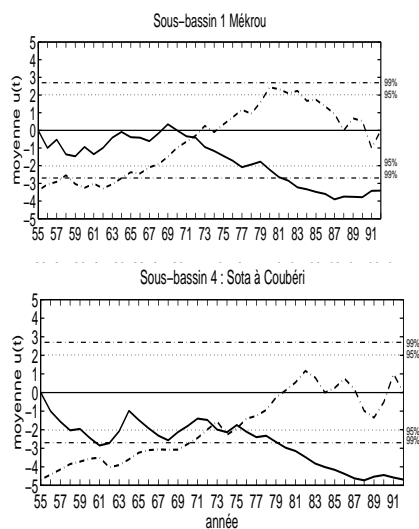
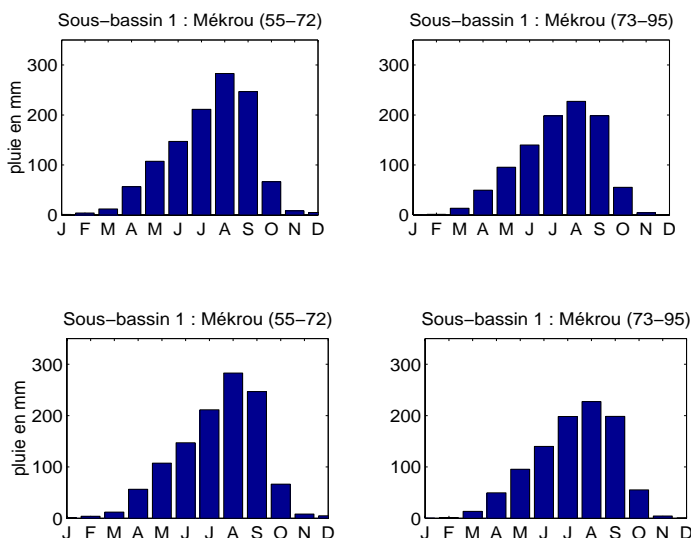


Fig. 5 : Régime pluviométrique des périodes 1955-1972 et 1973-1992



L'évolution des régimes pluviométriques (fig. 5) indique, une saison pluvieuse très importante avec un maximum en août supérieur à 250 mm avant 1972. 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 (VISSIN, 2001 et 2002).

Conclusion

Le bassin béninois du fleuve Niger connaît une variabilité pluvieuse et hydrologique assez importante dans le temps et dans l'espace. Sur l'ensemble de la série 1955-1992, deux périodes s'observent. Une période humide de 1955 à 1972 et une période marquée par des sécheresses depuis 1973 jusqu'en 1992 et une tendance générale des précipitations à a baisse depuis 1972. La baisse de la pluviométrie concerne aussi les hauteurs mensuelles, surtout celles de juin, juillet, août, septembre qui sont de moins en moins arrosés, peut être en relation avec une mousson qui perd de plus en plus de son humidité et de sa vigueur lorsqu'elle pénètre profondément à l'intérieur des terres.

Références bibliographiques

- FONTAINE B., 1985 : La variabilité des précipitations en domaine sahélien et ses connexions avec la circulation atmosphérique africaine atlantique. In Cahier de Centre de Recherche de Climatologie. N°11, URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon, pp 85-91.
- PERARD J., BOKONON-GANTA E. B., 1993 : Variabilité pluvieuse et mutations socio-économiques dans le Haut-Borgou (Nord-Bénin). In PUBLICATIONS DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE, Lannion, pp 163-171.
- TAPSOBA D., (1997). Caractérisation événementielle des régimes pluviométriques ouest - africains et de leur récent changement. Thèse de Doctorat, Université Paris XI (ORSAY), 300 pages.
- LUBES H., MASSON J-M., RAOUS P., TAPIAYU M., 1994 : Logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielles adapté à l'évaluation du risque en hydrologie : manuel de calcul. ORSTOM, 140 pages.
- VISSIN, E. W., 1998 : Contribution à l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin de la Sota. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UNB, Abomey-Calavi, Bénin 123 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.
- 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.

LE PROJET INTERREG III : IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE COMPORTEMENT DE LA VÉGÉTATION DANS LE FOSSÉ RHÉNAN

L. Jaeger, E. Parlow, P. Paul et H. Rennenberg

Institut Météorologique, Université de Fribourg, Allemagne

E-mail : lutz.jaeger@meteo.uni-freiburg.de

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, 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. Les plantes-test sélectionnées sont le blé (France), le pin (Allemagne) et le maïs (Suisse). Relatif à leur rendement, ces espèces végétales ont des demandes en eau différentes (plantes C3 et C4). Avec des méthodes d'investigation novatrices où chacun des quatre partenaires peut apporter sa contribution, il est possible d'expliquer de manière interdisciplinaire la dynamique complexe de l'offre de carbone atmosphérique et de l'alimentation en eau concernant la production de la biomasse variable en fonction du temps. Le projet réclame la nécessité de mesures simultanées sur les trois sites, associées à l'analyse intensive en laboratoire et au traitement des données. Les pays industrialisés doivent, selon le protocole de Kyoto, réduire considérablement à partir de 2008 leurs émissions de gaz à effet de serre (surtout le gaz carbonique). Un des résultats de ce projet sera la présentation de bilans régionaux du carbone. Ceci permettra aux pays participant au projet de disposer de bases plus précises pour équilibrer leurs capacités de stockage végétal des champs arables et les émissions polluantes correspondantes.

Le caractère novateur du projet réside dans l'aspect interdisciplinaire de l'étude des transferts de CO₂ des plantes C3 et C4.

En effet, des méthodes de micrométéorologie et de physiologie végétale sont couplées. Une détermination micrométéorologique des flux de CO₂ avec la méthode des fluctuations sera confrontée à une évaluation physiologique de la transpiration à l'aide des traceurs ¹³C et ¹⁸O et de mesures porométriques.

Un bilan est nécessaire pour estimer la capacité de stockage du carbone de l'écosystème.

Il faut donc déterminer la part de CO₂ fixée par la végétation et celle produite par la respiration du sol. La connaissance de ces différents termes conduit à l'optimisation de la capacité de stockage en carbone des écosystèmes par une amélioration des pratiques agricoles dans le fossé rhénan. La détermination des différents flux de CO₂ n'est possible qu'avec cette approche combinée et interdisciplinaire.

ÉPISODES CLIMATIQUES MARQUANTS SUR LE NORD-OUEST DE LA FRANCE

J. Jan et F. Baraer

Météo-France Ouest - Division Etudes et Climatologie - Rennes

e-mail : joel.jan@meteo.fr

Mots clés : canicule, vague de froid, base de données climatologiques, évènements marquants

Introduction

La France a connu, au cours de l'été 2003, une canicule apparemment sans précédent au cours du siècle passé. Il est souvent bien difficile de se prononcer sur le caractère exceptionnel ou non d'un événement climatique en l'absence de données historiques « fiables ». Dans le but de faire ressortir le signal climatique par rapport au « bruit » des séries lié aux changements instrumentaux, à l'environnement de la mesure, ..., de nombreux travaux d'homogénéisation ont été effectués ces dernières années sur les séries climatologiques mensuelles. Ainsi, le traitement des températures a mis en évidence un réchauffement climatique « moyen », cohérent à l'échelle de la France.

Des travaux plus récents, réalisés dans le cadre du projet IMFREX, ont permis de mettre à disposition des séries quotidiennes de référence sur la période 1931/2003. Ces séries sont plus adaptées à l'étude des événements type « canicule ». Des séries sont disponibles pour plusieurs stations météorologiques disséminées dans l'Ouest de la France.

1. Caractérisation des périodes de canicules et grands froids (étude de longues séries climatologiques quotidiennes)

Il s'agit donc cette fois de caractériser les périodes de canicule et de grands froids en utilisant des données quotidiennes (température maximale et minimale de chaque jour). Dans une première approche, des critères ont été appliqués pour sélectionner les épisodes : une canicule est définie par au moins 3 jours consécutifs à plus de 30 degrés; pour une vague de froid on se base sur des seuils de température minimale (-5 degrés) et de température maximale (+3 degrés). Chaque événement peut être qualifié dans son contexte grâce à un classement selon plusieurs critères (durée en jours, intensité moyenne ou cumulée, période de l'année). Les canicules les plus marquantes peuvent ainsi être classées, comme ci-dessous pour la station de Rennes, à partir d'un indice global d'intensité (tab. 1) :

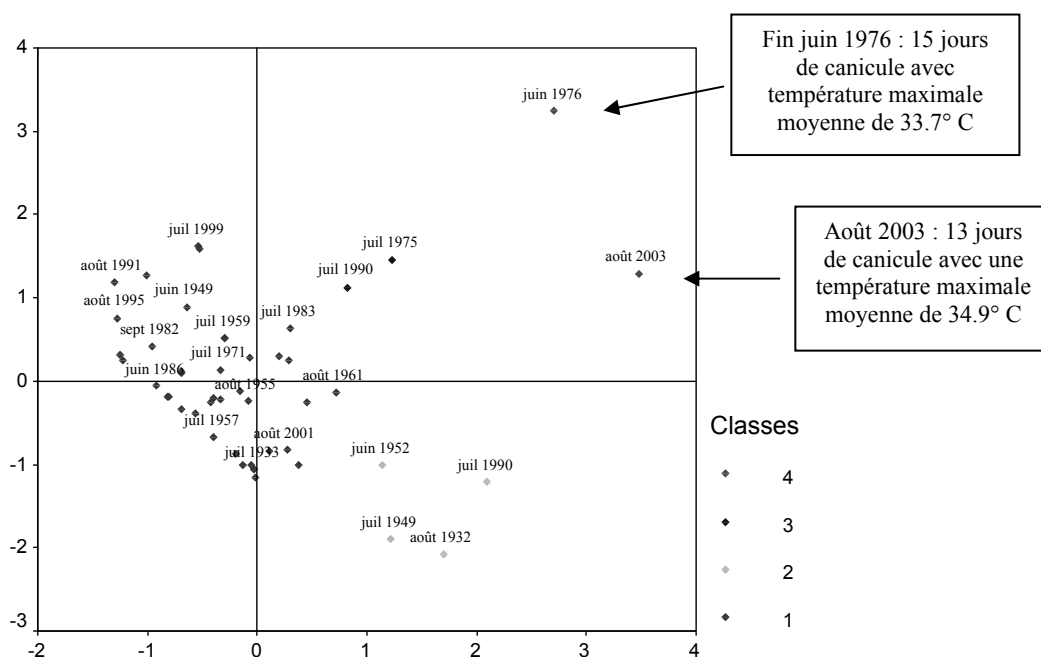
Tab. 1 : Canicules les plus marquantes à la station de Rennes à partir d'un indice global d'intensité

Date (début)	Indice global	Durée (jours)	Date (début)	Indice global	Durée (jours)
22 juin 1976	55	15	20 août 1955	14	5
2 août 2003	54	11	10 juillet 1949	13	3
31 juillet 1990	28	5	31 juillet 1938	13	4
28 août 1961	19	6	28 juin 1957	11	3
17 août 1932	17	3	12 août 1973	10	3
28 juin 1952	17	4	8 août 1998	9	3
24 juillet 1947	14	5	25 juillet 1933	9	3
			5 août 1933	9	3

L'étude de ces séries de données permet de mieux caractériser les événements climatiques récents : canicule de août 2003, période de froid de fin décembre 1996,...

Un classement multi-critères a également été établi grâce à une analyse en composantes principales (ACP) et à une classification automatique. Il apparaît notamment que les canicules d'août 2003 et de fin juin 1976 ont été tout à fait comparables. Elle se situent, toutes les deux, très loin du point central et ont à la fois une longue durée et une intensité totale hors norme (fig. 1).

Fig. 1 : Classement multi-critères des canicules à Rennes

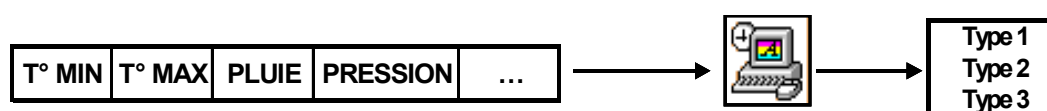


2. Etude des séries chronologiques des types de temps

Une autre approche de l'étude des événements extrêmes peut consister à analyser les séries chronologiques de différents types de journées météorologiques (temps froid et sec, caniculaire, doux et très pluvieux etc...). Une méthode de classification automatique a été mise au point en couplant une analyse en composantes principales et une classification par la méthode des nuées dynamiques.

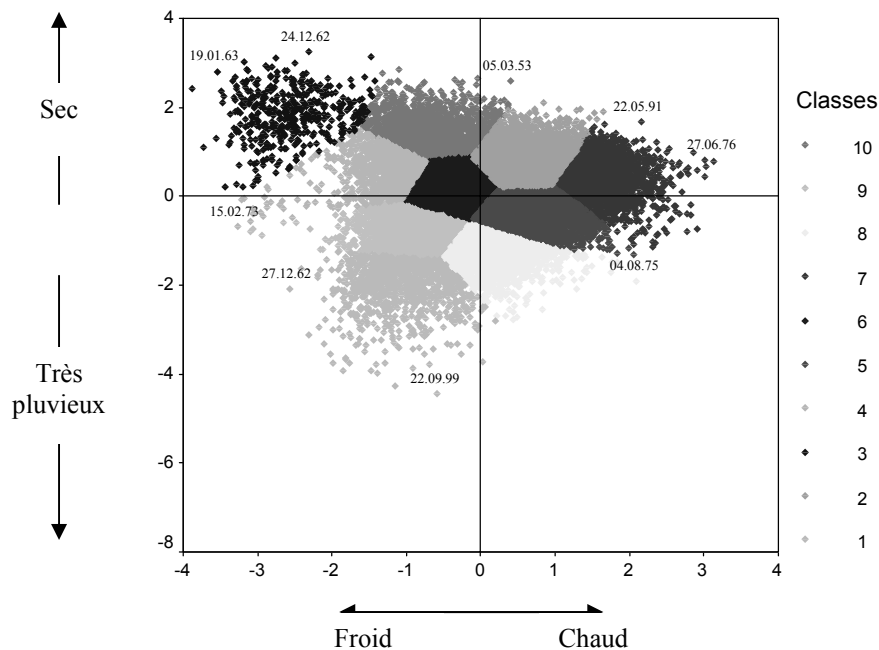
Tab. 2 : Extrait de la base de données utilisée et schématisation de la méthode de classification

Poste	Date	T° min	T° max	Pluie	Pression	Neige	Brouillard	Orage	Direction du vent	Force du vent
29 075 001	1950 01 01	3.2	8	0	1 030.9	0	0	0	70	5
29 075 001	1950 01 02	0.4	10.4	0.8	1 031.6	0	1	0	230	1
29 075 001	1950 01 03	9.2	9.8	1.3	1 025.9	0	0	0	320	8



Dix types de temps très variés ont ainsi été définis. Cette méthode très robuste a été testée sur plusieurs stations météorologiques de l'Ouest de la France de 1950 à 2003. Elle permet d'affecter un type de temps à chaque journée.

Fig. 2 : Représentation graphique de l'ensemble des journées pour la station de Brest

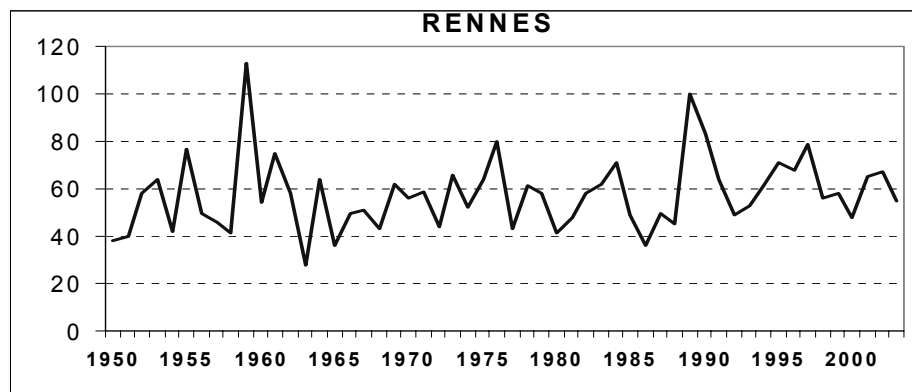


Tab. 3 : Quelques types de temps caractéristiques

	Type de temps	Moyenne des paramètres	Rose des vents
Classe 1	Frais et neigeux 3.12 %	Minimales = -1.8°C Maximales = 3.3°C Précipitations = 1.9 mm Pression = 1012 Hpa	
	Hiver		
Classe 6	Très ensoleillé 15.77 %	Minimales = 10.9°C Maximales = 24.6°C Pluie = 0.1 mm Pression = 1021 Hpa	
	Été		
Classe 8	Frais, pluvieux et venteux 1.08 %	Minimales = 9.2°C Maximales = 14.4°C Pluie = 20 mm Pression = 998 Hpa	
	Pas de saison particulière		

On étudie l'évolution temporelle de la fréquence de situations climatiques « typées » à partir des séries chronologiques des types de temps.

Fig. 3 : Evolution du nombre de jours du type « chauds et ensoleillés » par an à Rennes



En appliquant diverses méthodes statistiques (test des phases, des extrema, des coupures) aucune évolution significative n'a pu être décelée à partir de ces séries chronologiques.

3. La Base de données des événements marquants de Météo France (BDEM)

Contexte : devant la multiplication des événements extrêmes ces dernières années et la difficulté à les caractériser par rapport aux précédents, Météo France a décidé, pour ses besoins propres, à partir de 2001, d'alimenter une base de données de ces événements météorologiques marquants (BDEM). Celle est alimentée à posteriori soit à partir des archives pour les événements anciens soit, en temps quasi réel (quelques jours après l'événement) pour les événements récents.

Cette base de données peut contenir de multiples éléments relatifs à un événement météorologique (coupures de presse, cartes ou champs météorologiques, photos, images satellites ou radar etc). Ces données sont archivées sur support informatique (images avec différents formats possibles, textes etc...).

Actuellement, on recense plus de 700 événements météorologiques renseignés dans la BDEM qui s'avère, bien qu'elle ne soit pas exhaustive, un outil précieux pour conserver la mémoire des événements météorologiques remarquables. Cette base n'est pas accessible en dehors de Météo-France.

CONTRIBUTION À LA DÉFINITION DE L'EXCÈS D'ORIGINE CLIMATIQUE

F. Jubertie

Laboratoire de géographie physique – UMR 6042 - Clermont-Ferrand

e-mail : fabien.jubertie@libertysurf.fr

Résumé : L'excès est la conséquence d'un événement météorologique fort qui, associés aux vulnérabilités d'un territoire, entraîne une série de dégâts passagers ; il s'agit d'un phénomène social. Grâce à un modèle, nous verrons que le jeu des interactions, temps forts naturels-vulnérabilités, peut conduire à la création de quatre grands types d'espaces plus ou moins excessifs. Cet aspect théorique trouve une application par la présentation concrète d'un épisode excessif d'origine pluviométrique ayant intéressé la région Auvergne en 1994.

Mots-clés : Excès, définition, modèle, Auvergne

Abstract: Excess is the consequence of a great meteorological event which, associated with territory vulnerabilities, drags a chapter of momentary damage; it's a social phenomenon. Thanks to a model, we'll see that the interactions game, great natural events – vulnerabilities, can induce to the creation of four big spaces types more or less excessive. This theoretical aspect finds an application by the concrete presentation of an origin rainy excessive episode which interested the region Auvergne in 1994.

Key-words: Excess, definition, model, Auvergne

Introduction

L'excès est un mot qui apparaît de plus en plus fréquemment dans la littérature et le langage climatologique, pourtant celui-ci n'a pas reçu, à notre connaissance, une définition précise de ses auteurs. Le but de cet article est une tentative d'explication sur ce terme qui se révèle, au final, extrêmement riche de sens. Nous essaierons de montrer que l'excès ne peut-être uniquement assimilé à une manifestation naturelle brutale comme un extrême ou un paroxysme, puisqu'il relève d'interactions agissant entre un agent naturel menaçant (que nous appelons temps fort) et les vulnérabilités qui sont inhérentes aux civilisations. C'est donc avant tout un phénomène social, dont l'existence est symbolisée par la présence de dommages marquant provisoirement les paysages et les mentalités.

1. Recherche d'une définition

1.1. Aux sources de l'excès.

Du point de vue étymologique, l'excès possède déjà une connotation profondément humaine. Au sens du Latin chrétien, l'excès était assimilé à des valeurs morales et signifiait « écart », « faute », péché ». D'autre part, l'excès peut indiquer « ce qui dépasse une mesure moyenne, une limite fixée ou ordinairement admise ». Plus largement il correspond à un « acte qui dépasse la mesure permise ou tolérée », ce qui peut alors engendrer un certain nombre de problèmes.

Transposé au vocabulaire climatologique, nous donnons à l'excès un sens qui reste assez proche des définitions que nous avons précédemment vues. Celui-ci apparaît, en effet, lors du dépassement d'une limite qui génère une forme de désordre ou de gêne sociale. Il est la conséquence d'un événement

météorologique fort qui, associé aux vulnérabilités d'un territoire, entraîne une série de dégâts. L'aggravation d'un excès peut être aussi liée à l'irresponsabilité d'un groupe humain (dans les aménagements, les constructions...) qui de par sa conduite amplifie sa propre exposition au danger face à un phénomène naturel ; nous retrouvons alors dans ce type de comportement, la définition première du terme, l'homme réalisant en quelque sorte un écart, une faute, il a commis une erreur de gestion.

1.2. L'excès synonyme de catastrophe ?

Le phénomène dommageable vécu est le plus souvent évoqué dans le domaine des sciences sociales par le terme de catastrophe. Pour autant, nous pensons que le vocable catastrophe correspond trop souvent à un abus de langage, alors qu'il devrait être réservé aux situations les plus traumatisantes, capables de bouleverser durablement l'économie et les structures politiques d'un pays, tout en générant un nombre important de victimes.

Nous pouvons honnêtement nous demander si la catastrophe d'origine climatique existe encore dans les sociétés modernes occidentales ? Les pays industrialisés développés, d'Europe ou d'Amérique du nord, par exemple, n'ont pas à comptabiliser de catastrophes puisqu'ils disposent des moyens techniques et financiers pour rapidement effacer les dommages physiques et humains qui ont affecté leur espace ; nous assistons alors à une gêne passagère qui est loin d'être insurmontable. La situation doit être envisagée totalement différemment dans les sociétés économiquement pauvres et politiquement instables des P.E.D. Nous savons fort bien que les phénomènes les plus dramatiques sont malheureusement réservés au continent africain, à l'Asie du sud-est et aux pays d'Amérique latine, car ces « vraies » catastrophes persistent sur le long terme, la crise morale (la société doit enterrer ses morts) est toujours suivie par une crise économique qui ne fait qu'aggraver une situation déjà proche du marasme ; les perturbations sont profondes, la perte d'équilibre est durable.

La catastrophe et l'excès sont donc de même famille, il existe simplement une différence qui n'est pas à chercher dans les processus mais dans l'ampleur des phénomènes ; la catastrophe constitue l'échelon extrême de l'excès.

2. Genèse et spatialisation de l'excès

2.1. Aspects théoriques

On peut envisager l'excès, comme étant entièrement intégré à un système « où les paramètres climatiques se combinent entre eux et avec le milieu, qui implique la présence et l'action humaine » (Pagney, 1994). Nous allons à présent voir quels sont les différents modes qui en contrôlent la production, en exposant les trois étapes constituant la figure 1.

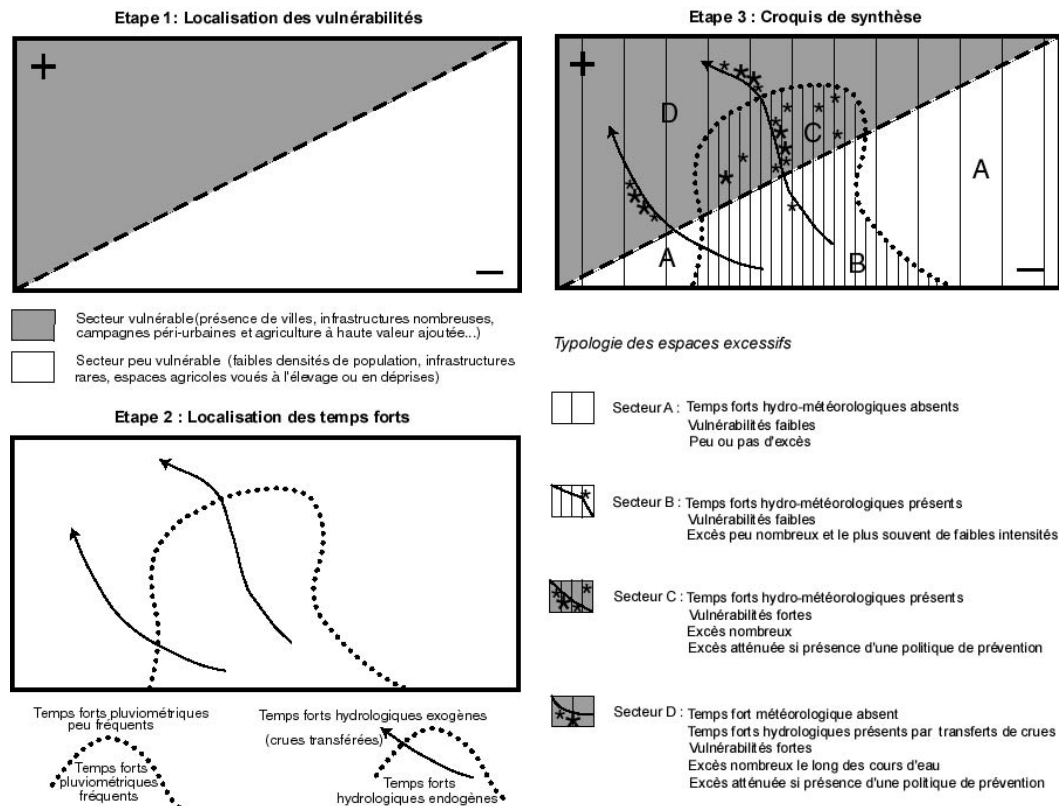
L'étape 1 présente un territoire imaginaire composé de deux étendues humainement différenciées. Située au sud-est (espace en blanc), la première est faiblement vulnérable : on peut la comparer à la moyenne montagne des pays développés. Située au nord-ouest (espace en gris), la deuxième est à l'opposé fortement vulnérable, industrialisée, très active, avec une agriculture à haute valeur ajoutée. On peut y voir une basse plaine comme le Languedoc, le Comtat-Venaissin, l'Alsace, ou un bassin comme la Limagne.

L'étape 2 montre quel est, sur ces deux territoires, le champ d'action des temps forts pluviométrique et hydrologique. On peut constater que cette emprise n'est que partielle, par conséquent, il se dégage quatre types de secteurs (étape 3).

En A, les excès sont quasi absents, puisqu'il n'y a ni vulnérabilités, ni temps forts pour les produire. En B, les excès sont peu nombreux, car si nous trouvons la présence du temps fort hydrométéorologique, les vulnérabilités restent faibles. La région la plus affectée par les excès correspond au secteur C, car combinant temps fort et vulnérabilités. Le secteur D également vulnérable, reste problématique car si nous notons l'absence du temps fort météorologique, nous constatons que des excès interviennent par le transfert de crues, alimentées par les précipitations tombées dans les secteurs B et C, et qui inondent en D, les nombreuses infrastructures riveraines aux cours d'eau.

Nous remarquons que les espaces les plus richement dotés en infrastructures et présentant les densités humaines les plus importantes semblent regrouper la majorité des évènements excessifs (secteurs C et D). L'ampleur de ces derniers sera évidemment conditionnée par l'existence d'une politique de prévention.

Fig. 1 : Genèse et spatialisation de l'excès

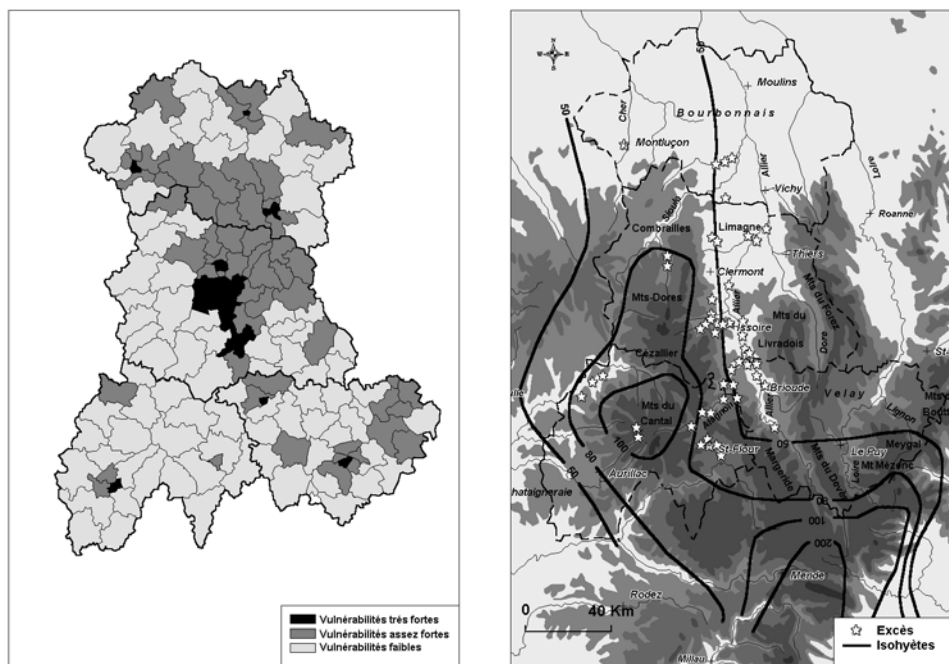


2.2. L'exemple auvergnat des 4 et 5 novembre 1994.

La figure 2A tente de mettre en valeur les secteurs les plus vulnérables de l'Auvergne. Pour cela, nous avons calculé un indice regroupant différentes variables prenant en compte par canton, les densités de population, les types de terroirs agricoles (dominante de forêt, d'élevage, de céréaliculture) et la présence d'infrastructures industrielles. On peut noter que les espaces les plus sensibles se situent principalement en milieu urbain et dans un vaste secteur allant du sud du Bourbonnais, en passant par la grande Limagne clermontoise jusqu'au val d'Allier et au pays de Brioude.

La figure 2B montre que le temps fort pluviométrique de novembre 1994 (précipitations combinées d'origine océanique et cévenole) a principalement affecté les Monts d'Auvergne, la Margeride et le Devès. Nous remarquons toutefois que ces espaces n'ont pas été formellement ceux qui ont connu le plus de dégâts, en raison de faibles vulnérabilités (caractéristiques spatiales semblables au secteur B de notre modèle). Les excès se rencontrent, en revanche, plus massivement le long de l'escarpement occidental des limagnes (en particulier à l'ouest d'Issoire, le long des Couzes Pavin et Chambon ainsi qu'à la confluence de l'Alagnon et de l'Allier), car si les précipitations ont été un peu moins abondantes, les vulnérabilités sont plus importantes (comme pour le secteur C). Enfin, de nombreux problèmes sont également apparus le long de l'Allier, ainsi que sur de petits affluents, en raison de transferts de crues affectant encore des espaces vulnérables (transferts comparables au secteur D).

Fig. 2A et 2B : Nous observons que les secteurs les plus vulnérables de l'Auvergne (fig. 2A à gauche) concentrent le plus grand nombre d'excès (fig. 2B à droite).



Conclusion

L'excès peut apparaître comme un terme utile et nécessaire au vocabulaire climatologique qui reste actuellement bien imprécis pour désigner tout événement météorologique intense générant des dégâts occasionnels sur un territoire. Au delà de l'aspect sémantique, nous avons également vu que l'excès possède un fonctionnement riche et complexe que nous avons tenté de mettre en valeur par l'élaboration d'un système permettant de comprendre son apparition.

Bibliographie

- PAGNEY P., 1994 - Les risques climatiques. P.U.F, Paris, 128 p.
- THOURET J-C., 1996 – Les phénomènes naturels dommageables : approche globale, bilan et méthodes de prévention. In Bailly S., Risques naturels, risques de sociétés, Economica, Paris, pp 19-33.
- DAUPHINE A., 2001 - Risques et catastrophes, A. Colin, Paris, 288 p.
- PIGEON P., 2002 - Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels, n° spécial approches géographiques des risques « naturels ». Annales de Géographie, 111 (627-628) : 452-470.

PRÉVISION ET CLIMATOLOGIE DES PHÉNOMÈNES EXTRÊMES. VERS UNE PERSPECTIVE HISTORIQUE

R. Juvanon du Vachat

Météo-France, D2I/Env - 1, Quai Branly 75340 Paris Cedex 07

e-mail : regis.juvanon-du-vachat@meteo.fr

Mots clefs : Climatologie, prévision météorologique, phénomènes extrêmes, retour d'expérience, historique

Abstract: We consider two extreme meteorological events in France (summer 2003 heat-wave; dec. 1999 wind-storms) and present the procedures developed to prepare civil security and people to such extreme events in the future. An historical view is then proposed.

Key Words: Climatology, weather forecasting, extreme events, lessons learned, history

Introduction

Cet article veut mettre en lumière les réponses apportées lors des situations météorologiques ou climatiques extrêmes par Météo-France et les progrès qui restent à faire. Il s'appuie sur les situations suivantes, qui ont durement frappé la France : les deux tempêtes de décembre 1999 (environ 100 morts et 18 milliards d'Euros de dégâts) et la canicule de l'été 2003 (15.000 morts). Après une brève présentation de ces événements météorologiques et climatiques majeurs, on fait une rapide synthèse des études effectuées à cette occasion. On présente alors les questions qui sont posées par l'occurrence de tels phénomènes et les réponses qui ont été apportées pour y faire face à l'avenir : carte de vigilance, banque de données d'événements extrêmes pour le premier; plan grands chauds et froids et bulletins biométéorologiques pour le second. On situe enfin tout cela dans une perspective historique comme l'a fait Pfister (2002).

1. La canicule de l'été 2003

Une vague de chaleur extrême s'installe sur la France début août 2003, avec des températures de l'ordre de 35 à 40°C pendant 10 jours entraînant une hécatombe exceptionnelle (15 000 morts) qui constitue une des plus grandes catastrophes récentes. Si l'on suit Albouy (2002), elle se situe entre le tremblement de terre de Kobe au Japon en 1995 (6000 morts) et celui de Lisbonne en 1755 (40 000 morts). Suite à cette canicule aux conséquences dramatiques, un grand nombre d'études se sont penchées sur cette situation exceptionnelle. Les questions posées sont les suivantes : a) Caractère exceptionnel de cette situation, quelle est la probabilité que de tels phénomènes se reproduisent à l'avenir ? b) ce phénomène était-il prévisible, à quelle échéance ? c) quels sont les relations météorologiques qui peuvent expliquer le grand nombre de décès ? d) quelles mesures prendre à l'avenir pour protéger les populations en cas de telles vagues de chaleur ?

Visiblement on a pu rapidement conclure sur a) grâce à un document Météo-France publié à la direction générale fin août 2003 (Courtier, 2003). Cet événement revêt un caractère exceptionnel par le nombre de jours où la température journalière maximum reste supérieure à 35°C (voire à 40°C) et l'étendue de la zone géographique concernée sur la France, pendant la période du 1er au 18 août 2003. Si l'on définit la canicule par la période d'août où les températures journalières (Tmin, Tmax) vérifient : Tmin > 20°C et Tmax > 35°C, on trouve une séquence de 9 jours du 5 au 14 août 2003. En examinant

(b) la prévisibilité de cette période à différentes échéances Lalaurette (2004) du centre européen (CEPMMT) conclut que le début était prévisible seulement 2 jours avant et la fin 5 jours à l'avance. Ce qui est d'ailleurs conforme aux prévisions de Météo-France.

Sur la possibilité d'occurrence de tels phénomènes dans le futur (a), on verra fleurir un grand nombre d'études et notamment les résultats du programme Gestion des Impacts du Changement Climatique (Déqué, 2003), ainsi que des études suisses (Schär et al., 2004). Ils concluent tous les deux à la possibilité de fréquence 5 fois supérieure dans le futur, pour une échéance (2070-2100). Par ailleurs la température moyenne sur les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août) 2003 se situe à un niveau comparable aux projections de fin de siècle pour un scénario A2 (Déqué, 2004). Enfin une étude très récente (André et al., 2004) conclut à la vraie difficulté de prévision à plus d'une semaine de ce type d'événements, même si l'on prend la température de l'océan observée après coup, l'océan étant réputé responsable des évolutions à une échelle plus grande (mensuelle, voire saisonnière).

Venons-en maintenant aux autres questions c) et d). Il s'agit de la biométéorologie, qui fait l'objet d'une commission du Conseil Supérieur de la Météorologie qui se réunit régulièrement et qui a donné lieu à la publication d'un N° spécial « Atmosphériques » sur la santé (N° 14), lors de l'assemblée plénière de ce Conseil (Colloque « Météorologie et santé », 2002). On trouvera dans Cohen (Rapport de mission) des éléments biométéorologiques très précis sur cette vague de chaleur, présentés au colloque de Bratislava (2004). Il faut surtout signaler les travaux du Pr Besancenot, qui fait autorité dans le domaine (Besancenot, 2002) sur la mortalité par vague de chaleur, indiquant que c'est la persistance de températures minimales élevées dans une canicule qui est la cause des décès (les personnes ne peuvent se reposer). Ces travaux avaient déjà été médiatisés, un an avant la canicule lors de la publication du rapport du sénateur Deneux sur le changement climatique (2002). Le rapport indiquait d'ailleurs approximativement le nombre de décès dus à une augmentation de 1°C de la température journalière moyenne, et préconisait des bulletins Météorologie et Santé !

On peut conclure sur cette canicule par les deux points suivants. Comme nouvelle procédure, Météo-France a adopté les plans grandes chaleurs et grands froids, le premier étant opérationnel au 1er juin 2004 et ces deux procédures étant cohérentes avec la carte de vigilance qui va être présentée au paragraphe 4, en incluant ces fameux bulletins biométéorologiques. D'autre part il faut souligner l'intérêt des travaux historiques de Pfister (un élève du Pr Le Roy Ladurie) qui a étudié 500 ans de climat depuis 1496 (Pfister, 1995), ce qui lui a permis de reconnaître d'emblée la situation exceptionnelle de l'été 2003, au regard des 500 dernières années.

2. Les tempêtes de décembre 1999

Il s'agit d'un événement météorologique très violent qui s'est passé en deux épisodes : le lendemain de Noël sur une zone située sur le Nord de la France et le jour suivant (nuit du 28 au 29 décembre 1999) sur la moitié Sud de la France, en partant de la Charente. Les météorologues allemands les ont désignés sous le nom de Lothar et Martin, comme on le fait pour les tempêtes tropicales (liste alphabétique de prénoms présélectionnés pour les tempêtes de l'année). Les vents ont atteint des valeurs extrêmes exceptionnelles lors de ces ouragans : 169 Km/h à Paris-Montsouris lors de la 1ère tempête et 198 km/h à l'Ile d'Oléron lors de la seconde. On trouve en fait une abondante littérature sur ces tempêtes et en particulier le N°7 de la série des phénomènes remarquables de Météo-France, signé des trois chefs prévisionnistes en poste lors de ces ouragans, et publié en 2001. Récemment M. Tabeaud (2003) a fait une étude plus exhaustive des différents aspects de l'ouragan Lothar en Île-de-France (mécanismes de formation, mesures et observation du vent, dégâts,...) dans un ouvrage qui s'accompagne d'un CD-Rom d'archives et d'un film, afin de garder la mémoire d'un tel phénomène violent. Enfin on lira avec profit le N° d'août 2002 des Annales des Mines (Réalités industrielles) intitulé « Les tempêtes : enseignement des crises et gestion des risques » qui présente le retour d'expérience après les tempêtes de décembre 1999 avec les articles de climatologues mais aussi du secteur électrique durement touché par l'événement !

3. La vigilance météorologique

Suite aux inondations survenues dans l'Aude les 12 et 13 novembre 1999 et aux deux tempêtes de décembre 1999, la vigilance météorologique a été mise en place le 1er octobre 2001. Ceci s'est fait après une période de discussion avec la Sécurité Civile, sachant que lors de l'analyse des tempêtes de décembre 1999, on a mis en évidence pour la prévision une sous-estimation de la violence des tempêtes mais aussi un manque dans la chaîne d'alerte pour l'information du grand public. Cette nouvelle procédure a pour but d'indiquer le risque météorologique durant les 24 h à venir sur le territoire métropolitain et est disponible sur Internet deux fois par jour (à 6h et 16h) à la fois auprès des autorités (Sécurité Civile) et auprès du public. Quatre niveaux de vigilance (vert, jaune, orange, rouge) signalent l'intensité de l'événement dangereux (fortes précipitations, vent violent, orages, neige-verglas et avalanche) sur une carte de vigilance où les départements sont représentés avec la couleur correspondante. Cette échelle de couleur s'inspire de l'échelle de risque cyclonique pratiqué outre mer, où les consignes ont été ajustées progressivement (fermetures des écoles) et où le non-respect des consignes lors d'une alerte rouge est puni d'une amende. Un bilan de deux ans de fonctionnement en métropole a produit deux alertes rouges lors des épisodes de fortes précipitations le 9 septembre 2002 sur le Gard et le 3 décembre 2003 sur l'Hérault. Cet épisode qui a entraîné les inondations d'Arles montre que cette procédure développe une culture du risque qui est bien compris à la fois du grand public et de la Sécurité civile.

4. Banque de données d'évènements extrêmes

Après de tels évènements extrêmes, on recherche naturellement dans sa propre mémoire des évènements comparables, on fait alors appel aux historiens du climat (Le Roy Ladurie, Pfister). Ainsi Le Monde indiquait en janvier 2000 (après les tempêtes de décembre 1999) que les historiens ne retrouvaient pas trace de tempêtes aussi violentes dans le passé. De même Pfister recherchait dans ses archives un ouragan aussi violent, et il en trouvait un à la trajectoire analogue vers 1750 environ qui avait frappé la Suisse, avec des dégâts importants. Cela manifeste d'emblée l'intérêt d'une histoire des tempêtes et d'ailleurs Bessemoulin dans l'article « Les tempêtes en France » du N° des Annales des Mines déjà signalé regrettait que l'on ne dispose pas en France d'une véritable Banque de Données des Evènements marquant la mémoire collective, qui serait l'inventaire de tous les phénomènes extrêmes correctement répertoriés et il en présentait une première ébauche. Par ailleurs il est classique de s'adresser aussi aux assurances pour ce type de banque de données, qui pour elles est plutôt une banque des dégâts observés. Le problème de ces banques de données, c'est qu'elles sont souvent incomplètes, biaisées vers tel aspect des catastrophes ou telle région et qu'il faut les faire vivre, de même qu'un évènement exceptionnel a tendance à disparaître de notre mémoire à mesure que le temps s'écoule ! Enfin c'est souvent les impacts qui marquent plus que l'évènement météorologique ou climatique lui-même, et il faudrait une normalisation des rapports (cf. Cornford, Bulletin de l'OMM) ou alors s'adresser à la banque du CRED (Centre of Research of Epidemiology of Disasters) de l'Université Catholique de Louvain, qui est homologuée au niveau européen (Albouy, 2002, p.149).

Conclusion générale

Il faut d'abord souligner que ce sont les conséquences dramatiques des évènements étudiés qui ont entraîné les nouvelles procédures lors des retours d'expérience. Enfin l'intérêt de considérer ces évènements extrêmes dans une vraie perspective historique, y compris dans leurs conséquences socio-économiques a été seulement ébauché mais reste à approfondir comme l'a fait Pfister (2002), en véritable historien du climat. Pour le lien de ces évènements extrêmes avec le changement climatique, voir (ONERC, coll. 2003).

CEPMMT : Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

ONERC : Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique

Références bibliographiques

Albouy F.-X., 2002 : Le temps des catastrophes. Editions Descartes

André J.-C., M. Déqué, Ph. Rogel et S. Planton, 2004 : La vague de chaleur de l'été 2003 et sa prévision saisonnière. CR GeoScience, 336, 491-503.

Baleste M-C, H. Brunet, A. Mougel, J. Coiffier, N. Bourdette, et P. Bessemoulin, 2001 : Les tempêtes exceptionnelles de Noël 1999. Série Phénomènes remarquables N° 7.

Besancenot J.-P., 2002 : Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. Environnement, Risques et Santé, vol I, n°4, 229-240.

Courtier Ph., 2003 : La canicule de 2003 : prévisibilité et lien avec le changement climatique. Document Météo-France.

Deneux M., 2002 : Rapport sur les Changements Climatiques. Ass. Nationale N° 3603.

Lalauette F., 2004 : Phénomènes météorologiques extrêmes. Pourrait-on être prévenu plus tôt ? Communication au Conseil Supérieur de la Météorologie.

Pfister C., 1995 : Climatic variations and natural hazards over the last 500 years, 1496-1995. Haupt Editions, Berne.

Pfister C., 2002 : Le jour d'après. Surmonter les catastrophes naturelles en Suisse de 1500 à 2000. Haupt Editions, Berne

Schär C. et al., 2004 : The role of increasing temperature variability in European summer heat-waves. Nature, 427, 332-336.

Tabeaud M., 2003 : Île-de-France : avis de tempête force 12. Publications de la Sorbonne (Un CD-Rom d'archives et un film sont associés).

INTERACTIONS TROPICALES – TEMPÉRÉES ET PLUVIOMÉTRIE AU MOZAMBIQUE

*A. Manhique*¹, *Y. Richard*², *N. Fauchereau*², *P. Camberlin*²

¹ INAM, R. de Mukumbura, Maputo, Mozambique
e-mail : atanasio_m@inam.gov.mz

² UMR 5080 CNRS/Université de Bourgogne, Dijon
e-mail : yrichard@u-bourgogne.fr

Résumé : En novembre-décembre, saison cohérente en termes de variabilité interannuelle, les précipitations affectant le nord du Mozambique sont prioritairement contrôlées par la circulation de moyenne et haute troposphère des latitudes moyennes à subtropicales.

Mots-clés : Mozambique, précipitations, interactions tropicales-tempérées.

Abstract: In November-December, a coherent season in terms of interannual variability, precipitation affecting Northern Mozambique is primarily controlled by mid- and upper-tropospheric circulation from the midlatitudes and subtropics.

Key-words: Mozambique, rainfall, tropical-temperate interactions.

Introduction

Le Mozambique se déploie sur presque 2000 Km entre 11° et 26° de latitude sud. Le climat est tropical avec des précipitations centrées sur l'été austral, principalement entre octobre et avril. Les inondations survenues en février 2000 dans la basse vallée du Limpopo comme la sécheresse ayant frappé le pays en 2002 montrent la vulnérabilité aux aléas climatiques : plusieurs milliers de morts dans le premier cas, appel à l'aide alimentaire internationale dans le second. La rareté de travaux portant spécifiquement sur ce pays fait que la variabilité interannuelle des précipitations demande à être mieux connue, interprétée et prévue. Sécheresses et excédents pluviométriques s'insèrent-ils dans des aires dépassant largement le cadre strict du Mozambique ? Interviennent-ils en association avec des modes globaux de variabilité climatique du type ENSO ou bien s'inscrivent-ils plus dans un contexte d'anomalies régionales ? Les températures de surface de l'océan jouent-elle un rôle prééminent, ou bien les forçages atmosphériques prédominent-ils ?

1. Données

Les précipitations mensuelles en points de grille 0.5° du CRU sont analysées sur 1961-2001 (New et al., 1999). Les réanalyses NCEP/DOE documentent la circulation atmosphérique (Kanamitsu et al., 2002), le fichier GISST les températures de surface de l'océan (Rayner et al., 1996), les deux en points de grille de 2.5°.

2. Méthode

Deux Analyses en Composantes Principales (ACP) étendues sont effectuées. Cette technique permet de comparer les structures spatiales de variabilité des différents mois de l'année et d'appréhender d'éventuelles persistances (Richard et al., 2002). Les 12 mois et les points de grille constituent les

variables, les observations étant formées des 41 années pluviométriques (juillet 1960 – juin 1961 à juillet 2000 – juin 2001). Un indice obtenu par moyenne spatiale entre les points de grilles est constitué. Il permet d'identifier années humides et années sèches sur lesquelles sont effectuées des analyses composites. Les différences entre chaque échantillon et la population sont testées selon le test en T de Student. Pour le vent, le test T2 d'Hotelling est calculé puis, l'échantillon étant inférieur à 50 observations, transformé en F de Fisher.

3. Résultats

Une ACP étendue est effectuée sur l'ensemble de l'Afrique australe avec une résolution de 3° côté. Les anomalies sont structurées d'octobre à Mai (non montré). Le nord et le sud du pays connaissent des anomalies nettement différentes, parfois de signe opposé. Le nord est soumis à des anomalies cohérentes et persistantes en novembre et décembre. Il appartient alors, du point de vue de la variabilité pluviométrique interannuelle, à un vaste ensemble « Afrique de l'Est ». Le sud est marqué par des anomalies étendues dans l'espace et dans le temps entre janvier et avril. Il partage alors une partie de son histoire pluviométrique avec l'Afrique australe. Une seconde ACP étendue, effectuée à l'échelle du Mozambique avec une résolution spatiale plus fine (1° côté), témoigne de la robustesse de la distinction entre nord et sud du pays, ainsi que de la cohérence novembre-décembre d'une part, janvier-mars de l'autre (non montré). Pour novembre-décembre, sur le nord du Mozambique, un indice est calculé en moyennant les cumuls bimestriels de 170 points de grille du CRU.

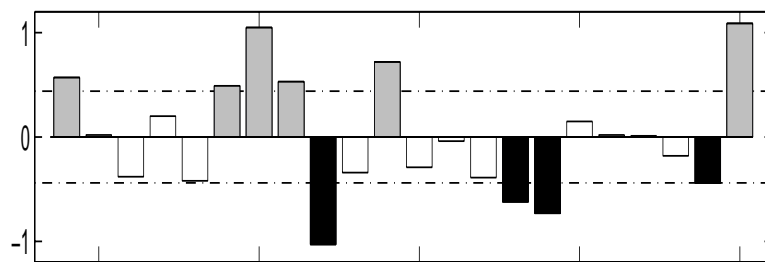


Fig. 1 : Pluies au Mozambique Nord (novembre-décembre)

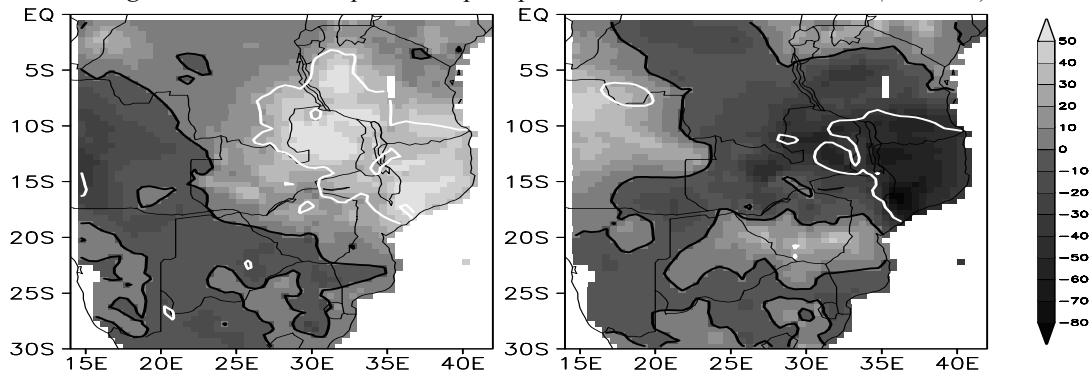
Gris : échantillon pluvieux, noir échantillon sec.

Sur la période 1979-2000 (imposée par les données NCEP/DOE), deux échantillons (pluvieux et secs) sont constitués.

Des analyses composites sur les pluies permettent de vérifier la représentativité de l'indice. L'échantillon pluvieux témoigne des excédents significatifs sur le nord du Mozambique mais aussi sur le Malawi et le nord-est de la Zambie (fig. 2 gauche). L'échantillon sec présente des anomalies plus marquées (moins de 50 mm par rapport aux autres années) mais limitées au nord du Mozambique (fig. 2 droite). La cohérence entre cet espace et l'Afrique orientale mise en évidence par l'ACP étendue est peu nette sur ces échantillons. Se pose ici la question de la fiabilité des données CRU sur le Mozambique lors des années 1970 où la guerre a perturbé le fonctionnement du réseau au sol. Sur la période retenue (1979-2002) ce problème est a priori moindre.

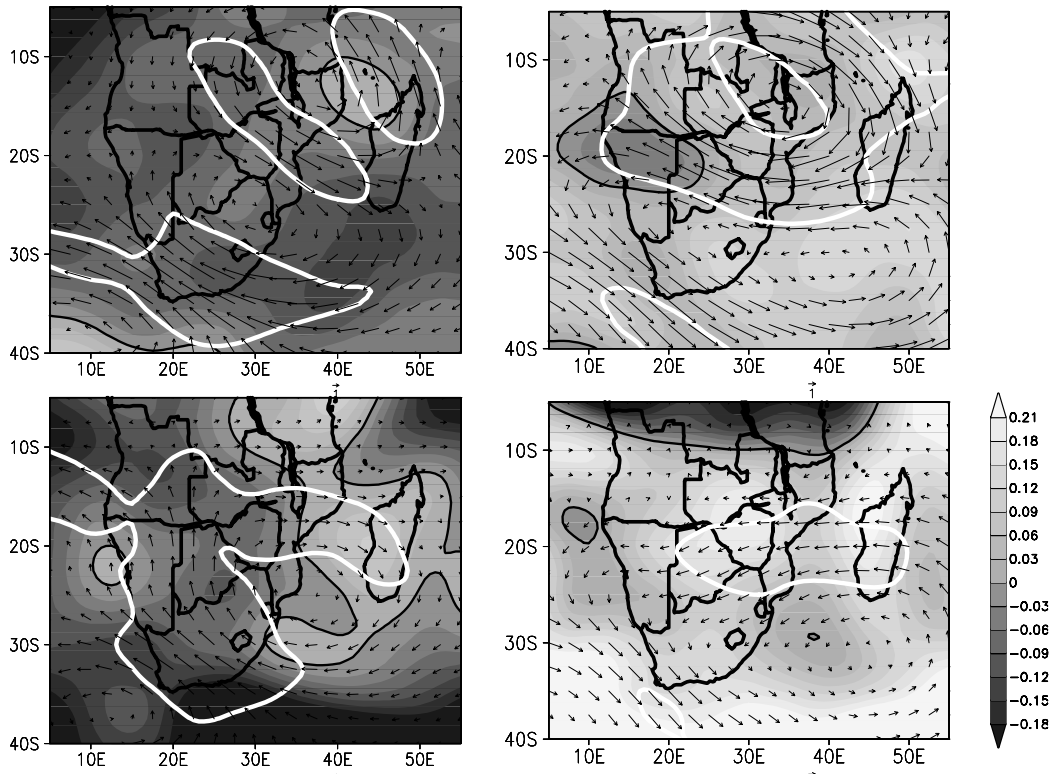
Des analyses composites effectuées sur plusieurs variables représentatives des conditions de surface (température de surface océanique, pression, vent, humidité) témoignent de la faiblesse du lien entre précipitations et conditions de basses couches (non montré). En particulier, le lien avec la Zone de Convergence Inter Tropicale de l'océan Indien est extrêmement faible. Dans la haute et dans la moyenne troposphère se développent des anomalies plus étendues, cohérentes et significatives (fig. 3). A 200 comme à 500 hPa, le vent présente des successions d'anomalies formant des noyaux cycloniques ou anticycloniques témoignant de leur caractère tourbillonnaire et non divergent. Des anomalies généralisées de températures sont notées. Lors des débuts d'étés pluvieux (graphiques de gauche), dans un air anormalement froid, un thalweg d'altitude (200 hPa) se forme vers 25° sud sur le sud-est de l'Afrique australe.

Fig. 2 : Anomalies composites de précipitations en novembre-décembre (mm/mois)



Gauche : ND pluvieux (1979, 1984, 1985, 1986, 1989, 2000), droite ND secs (1987, 1993, 1994, 1999).
Contour noir : 0 (pluies moyennes), contour blanc : anomalies significatives 90%

Fig. 3 : Anomalies composites du vent et de la température à 200 et 500 hPa



Flèches : anomalies de vents en m/s, couleurs anomalies de T° en °K
Haut : 200 hPa, Bas : 500 hPa. Gauche : ND pluvieux, Droite ND secs.
Contour noir : 0 (T° moyennes), contour blanc : anomalies de vent significatives au seuil 5%.

A 500 hPa les anomalies cycloniques sont centrées sur le sud du canal du Mozambique. Cette configuration témoigne de la présence répétée de basses pressions d'origine tempérée sur le sud du canal de Mozambique. Un air froid est advecté sur le continent depuis les latitudes tempérées. Le fait que ceci soit perceptible au pas de temps bimensuel conduit vers l'hypothèse d'une onde stationnaire du jet subtropical d'ouest. Plus au nord, sur le nord du Mozambique des anomalies anticycloniques signant la divergence d'altitude sont observées à 200 hPa. La convection profonde est accrue (non montré). Lors des débuts d'étés secs (graphiques de droite), les conditions sont diamétralement opposées. Dans un air anormalement chaud, une anomalie cyclonique se développe à 200 hPa au-

dessus du Mozambique nord (fig. 3). Plus au sud, au-dessus de la zone de recirculation des Aiguilles règnent des anomalies anticycloniques et des températures élevées à 200 hPa. Dans la moyenne troposphère, à 500 hPa, des anomalies anticycloniques centrées sur le sud du canal de Mozambique génèrent des vents d'est adveçant de l'air chaud sur notre zone d'étude. Ceci est associé à une moindre convection (non montré). Le fait que les anomalies bimestrielles, qui sont des moyennes de champs intégrant les fluctuations météorologiques liées à la circulation synoptique, puissent reproduire ces structures peut surprendre. Les travaux de Washington et Todd (1999) montrent pourtant que les événements synoptiques individuels présentent des modes de variations similaires à ceux obtenus au pas de temps mensuel.

Conclusion

Situé sous les tropiques, le nord du Mozambique connaît une variabilité pluviométrique interannuelle en partie contrôlée par des mécanismes extra-tropicaux. En début d'été, dans le nord du Mozambique, la convection profonde, les dépressions tropicales de la haute troposphère et les précipitations de novembre-décembre sont favorisées ou inhibées par la circulation de moyenne et haute altitude associée aux dépressions tropicales-tempérées. Ce mécanisme où intervient la circulation tourbillonnaire qui prévaut en début d'été en Afrique australe explique que le début et la fin de l'été austral présentent des structures de variabilité différentes. En effet, à partir de janvier il est relayé par des conditions barotropes (D'abreton et Tyson, 1995) très liées aux conditions de surface, en particulier aux TSO et à l'ENSO.

Références bibliographiques

- D'ABRETON P.C., TYSON P.D., 1995: Divergent and non-divergent water vapour transport over Southern Africa during wet and dry conditions. *Meteorological and Atmospheric Physics*, 55, 47-59.
- KANAMITSU M., EBISUZAKI W., WOOLEN J., YANG S.-K., HNOLO J.J., POTTER G.L., 2002: NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorology Society*, 1631-1643.
- NEW M., HULME M., JONES P., 1999: Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, 12, 829-856.
- RAYNER N.A., HORTON E.B., PARKER D.E., FOLLAND C.K., HACKETT R.B., 1996: Version 2.2 of the Global sea-Ice and Sea Surface Temperature data set. CRTN 74, Hadley Centre, Met Office, Bracknell, Royaume-Uni.
- RICHARD Y., CAMBERLIN P., FAUCHEREAU N., MULENGA H., 2002: Cohérence intrasaisonnière de la variabilité pluviométrique interannuelle en Afrique du Sud. *L'Espace Géographique*, 31, 63-72.
- WASHINGTON R., TODD M., 1999: Tropical-temperate links in southern african and southwest Indian ocean satellite-derived daily rainfall. *Int. J. of Climatol.*, 19, 1601-1616.

LES RISQUES CLIMATIQUES EXTRÊMES

J.-P. Marchand

LETG UMR 6554

GDR Riclim, Université de Rennes 2

Cette communication à l'AIC constitue une contribution aux discussions qui ont lieu au sein du GDR « Risques climatiques » sur les phénomènes climatiques exceptionnels et/ou extrêmes.

Par exemple, pour Denis Lamarre, il faut se méfier du terme « extrême » qui n'a souvent qu'une signification médiatique et peu de sens par rapport à « exceptionnel ». Pour lui l'extrême n'est jamais atteint et à ce titre est non mesurable et difficile à prendre en compte et à conceptualiser.

Pour Anne Marie Grenet, historienne, les événements exceptionnels se situent entre mémoire et oubli. Mais la frontière entre l'exceptionnel et l'extrême nécessite de relativiser, car elle n'est pas si nette que cela quand, en particulier, elle est saisie par des expressions du genre « de mémoire d'homme », ou « on a jamais vu cela », que l'on rencontre fréquemment dans les archives, ce qui renvoie donc aux types de représentation: Ainsi à partir du moment où un événement est conservé dans les mémoires, il en devient exceptionnel. Anne Marie Grenet est ainsi amenée à poser quelques questionnements à tous ceux qui s'intéressent aux rapports entre le climat et les sociétés donc en particulier les géographes. En effet, l'espace vécu, ses représentations sont à prendre en compte dès que l'on débouche sur des termes comme exceptionnel ou extrême qui portent en eux une part d'irrationnel. Pour elle les questions qui se posent en terme de recherche seraient les suivantes

Pourquoi un événement qui peut paraître sur le coup exceptionnel n'est pas conservé dans les mémoires ?

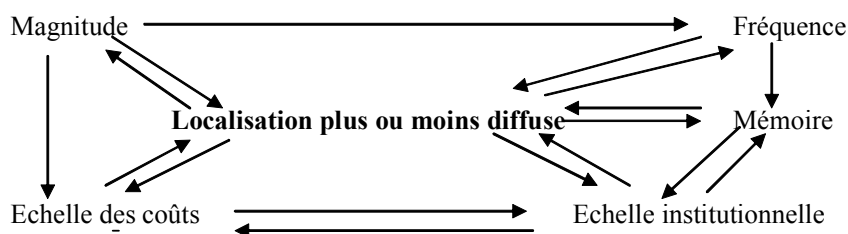
Pourquoi un événement qui ne paraît pas exceptionnel est conservé dans la mémoire collective ?

Donc qu'est ce qui résulte, du fait des archives, ou de la mémoire, que « l'anormal » puisse être, soit occulté, soit rendu exceptionnel.

Mais quand on pense extrême ou exceptionnel, il faut faire attention à ne pas créer de confusion entre les phénomènes climatiques et les risques climatiques. Pour ce qui est du phénomène climatique, on sait en général déterminer ce qui est exceptionnel. Les lois de distribution sont connues et la discussion porte plus sur les seuils à retenir que sur les valeurs elle mêmes. L'extrême peut alors se concevoir comme un niveau asymptotique de probabilité quasi nulle mais qui paradoxalement est susceptible de se produire !

Il en va différemment du risque climatique qui est lui particulièrement propice au passage de l'exceptionnel à l'extrême, qu'il soit direct (tempête), indirect (inondations), localisé ou diffus. On peut estimer en première approximation que l'exceptionnel commence à apparaître quand il existe une reconnaissance par l'assurance ou par les pouvoirs publics. Mais il est vrai que quand on sait que certaines communes en France sont déclarées sinistrées tous les deux ans en moyenne, cela donne à réfléchir. Ainsi se pose en retour de la question sur le risque et l'extrême, celle de la définition de ce qu'est un « phénomène normal » et donc de l'acceptable. Mais se poser la question du risque climatique exceptionnel ou extrême dépend de quel point de vue on l'envisage. En effet l'extrême du climatologue n'est pas le même que celui de l'économiste, de l'assureur, de l'historien, du responsable politique, de l'habitant, du citoyen ou du géographe, et ce pour un même accident.

Pour le géographe, qui étudie un espace organisé et structuré par une société, le risque s'applique sur un territoire et c'est à l'aune des modifications de ce dernier que l'on doit envisager l'exceptionnel ou l'extrême. Le système ci dessous montre cette idée de mettre le territoire au centre des préoccupations des géographes



Dans ces conditions, un risque extrême devra entraîner une modification significative du fonctionnement et/ou de la structuration d'un territoire, une dérégulation forte et irréversible du système territorial avec un fort traumatisme socio-spatial pour les populations. Il serait donc une bifurcation forte dans l'organisation de l'espace au sens que lui donne Thom dans sa théorie des catastrophes.

A contrario, un risque ne sera considéré que comme exceptionnel si on a un retour à un équilibre dans un délai relativement court dans un contexte territorial peu changé ; Le système s'est autorégulé dans des conditions satisfaisantes comme le font tous les systèmes complexes. En effet selon H. Zwirn (2003), « un système complexe a un comportement holistique, c'est à dire global : on ne doit pas considérer que ce comportement résulte de la combinaison du comportement isolé de certaines de ses parties, mais on doit l'envisager en bloc, comme un tout. La richesse des interactions au sein d'un système lui permet souvent de s'organiser spontanément ». D'une certaine façon, le risque extrême déclenche alors « du temps long » au sens de F. Braudel alors que l'exceptionnel ne déclenche que « du temps court ».

Evidemment, dans cette acceptation de modification territoriale que donne le géographe au risque extrême, ce n'est que par le passé, et avec un certain recul que l'on peut le saisir d'où la collaboration avec les historiens. D'autre part, le climat n'est jamais le seul élément et n'est souvent qu'un élément du système, ou qu'un révélateur, un accélérateur d'un état latent de crise. On peut ainsi dire que le climat est le révélateur « rhéxistatique » d'un système territorial en état avancé de décomposition « biostatique » si on peut se permettre cette transposition aux territoires de concepts pédologiques déjà anciens.

Deux exemples vont illustrer ces propos les tempêtes qui ont ravagées tout ou parti de la France en 1987 et 1999 ainsi qu'une relecture de la grande famine irlandaise , déjà étudiée dans la thèse mais qui ici se prête bien à une analyse portant sur les mutations territoriales

L'exemple des tempêtes, en tant que phénomène climatique, connaît en France une limite « asymptotique » aux alentours de 200 km/h. Dans ces conditions, puisque ces limites ont été atteintes en 1987 sur la France de l'Ouest, et en 1999 sur pratiquement tout le territoire, ces trois tempêtes ont elles entraînées des risques extrêmes ou exceptionnels ?

En tant que phénomènes climatiques, elles ont été au minimum « exceptionnelles », étant donné que l'on était proche de l'asymptote. Ce sont ici les probabilités de retour qui peuvent dire si l'on était dans l'extrême climatique.

Cela se complique quand on fait intervenir l'espace. Celle de 1987 sur une partie du littoral, n'est pas extrême même si elle fait partie des phénomènes rares sur une façade ouest. Les grosses tempêtes de sud-ouest, qui sont souvent des cyclones tropicaux « dégénérés » et revitalisés par le flux d'ouest sont des phénomènes connus, y compris avec de telles magnitudes. Par contre, le caractère « double » des tempêtes de 1999 et leurs extensions spatiales en font un phénomène réellement exceptionnel, voir extrême encore que aucune région n'a vraiment été touchée fortement par les deux ouragans. Une frontière nationale passant de Nantes à Genève aurait fortement diminué l'impact dans chacune de ces deux entités fictivement créées ici, et c'est l'impact de la concomitance sur le même territoire national qui fait pencher le risque vers l'extrême.

Donc, pour ce qui est du risque, si on prend comme critère la désorganisation durable d'un territoire, il faut faire intervenir l'échelle. Globalement à l'échelle nationale, si on a observé de véritables dysfonctionnements de la circulation et de la distribution d'électricité, le système territorial a plutôt bien résisté et a retrouvé un état proche de ce qu'il y était auparavant, dans des délais raisonnables et les assurances n'ont pas fait faillite .

Par contre, à des niveaux scalaires plus fins, à des échelles plus locales, de la forêt ou de l'exploitation forestière, les dégâts sont durables. La structure émiétée de la propriété forestière a mal supporté les dégâts et beaucoup d'exploitations patrimoniales avec propriétaires non résidents ne se remettront pas de la crise. Or ces bois (Landes, Charente, Limousin, Est de la France) qui tendaient dans cette France du vide à occuper des friches laissées par l'exode rural vont, faute d'un débardage difficile, à cause de trop petite surfaces et de l'incapacité de la filière bois à assumer un afflux massif de grumes, être laissés à l'abandon et évoluer selon une dynamique non plus sylvicole mais beaucoup plus « naturelle » selon la logique classique des séries de végétation. Ainsi, localement, et à l'échelle de certains cantons forestiers, le risque climatique lié à ces tempêtes de 1999 peut-il être qualifié d'extrême.

Pour la tempête de 1987, qui n'a touché que la France de l'ouest, le plus faible taux de boisement n'en a pas fait un risque extrême. Par contre, sur le littoral, nombre de sites (ont vu ravager leurs plantations de pins maritimes modifiant une image patrimoniale du littoral et de certaines stations bretonnes, en ramenant certains de ces lieux à leur antique paysage de lande qui avait été abandonné à fin du XIX^{ème} siècle pour un paysage plus conforme à l'idéologie méditerranéenne en vigueur à l'époque. On a donc bien ici une modification profonde, mais très localisée, qui nécessite le retour à l'identique mais lequel : l'image actuelle du boisement ou la lande et son image ancienne ? Et c'est uniquement à cette échelle que sont visibles les conséquences de cette tempête, que les mémoires en sont encore marquées et qu'elle peut apparaître comme extrême.

Pour mémoire, rappelons que les tempêtes de 1999 ont fait peu de dégâts en Bretagne, ce qui était à détruire l'ayant été en 1987 ! Seule la région de Fougères a été réellement atteinte, mais elle était sur les marges de l'ouragan de 1987. Ce phénomène de 1999 climatiquement rare, voire exceptionnel en Bretagne par la vitesse des vents, n'a peut être même pas été un risque exceptionnel !

Toutefois un risque extrême n'est pas lié obligatoirement à un phénomène climatique exceptionnel en soi, mais qui peut le devenir dans un contexte socio-économique donné. La grande famine irlandaise peut être perçue comme un risque de ce type. C'est ce que montre le système (Marchand, 1985) qui n'est pas autre chose qu'un modèle d'interaction entre aléas et vulnérabilité, sans que ces termes soient employés.

On connaît les causes climatiques : le mildiou de la pomme de terre qui se développe par une humidité relative $\geq 90\%$ et des températures $\geq 12^\circ\text{C}$ pendant une dizaine d'heures et qui détruit la récolte et les semences, ainsi qu'une succession d'étés humides qui empêchent la récolte des céréales. On est loin d'avoir des phénomènes climatiques extrêmes ni même exceptionnels. Mais on sait que (Marchand, 1985) que le territoire irlandais « fonctionne » selon un équilibre entre les pommes de terre nourricières et les céréales « monétaires » fournissant du numéraire et servant ainsi à payer les loyers. Or, dans le contexte socio-économique du Royaume-Uni de l'époque, il n'y a pas eu d'ajustements significatifs, d'autorégulation par les pouvoirs publics, ce qui a entraîné une famine qui causa par

décès et émigration une perte démographique de plus de quatre millions de personnes sur les huit que comptait l'Irlande en 1841.

En terme d'espace, la famine est, par son apport de population une entrée du système territorial des USA, une stabilisation du système du Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande et une bifurcation au sens de Thom à la suite d'effets « dominos », une catastrophe avec une recomposition territoriale créant des espaces en marge à l'ouest et une banlieue prolétarienne à Dublin, avec une perte de population souvent dynamique qui allait manquer après l'indépendance de 1921. Donc si risque climatique il y a, il est bien extrême si on considère qu'un risque extrême, quelle qu'en soit la cause, est bien, pour un géographe, une modification profonde du territoire. Mais il est vrai que le modèle montre bien qu'il y avait déjà un début d'émigration et qu'il était en état potentiel de « biostasie » et que le climat des années 1845-50 par ses variabilités quotidiennes (type de temps à mildiou) et interannuelle (pluie d'été) a été le facteur déclenchant la « rhexistasie ».

La création de la mémoire s'est faite plus tardivement au XX^{ème} siècle par réappropriation de la peur dans une première phase au théâtre (Synge, O'Casey,) en faisant de la pluie et du mauvais temps un ressort dramatique en littérature (Joyce, Flaherty) et au cinéma (Ford, Shéridan) puis par évocation directe de la famine par le roman (Flaherty) (JPM 1993). Ici on a une recherche réalisée évidemment sur le passé mais qui peut être conçu comme un scénario et pouvant être assimilé à un retour d'expérience, phase qui fait désormais des pratiques des politiques publiques à la suite de risques exceptionnels ou extrêmes.

Dans l'avenir, si on peut prévoir « grosso modo » le phénomène exceptionnel climatique, étudier les risques climatiques en prenant en compte les autres aspects sociaux, mentaux, historiques, économique et politiques du système territorial, il est plus difficile d'envisager des risques extrêmes. Le changement climatique, qui entraîne la fin de l'hypothèse sécurisante pour le chercheur de la stationnarité du climat, en est un, comme la fin des glaciers des Andes telle qu'elle est décrite par l'IRD et ses conséquences sur les oasis de piedmont. On voit bien à travers ces exemples, que le risque extrême est un fait a-scalaire.

Références bibliographiques

- MARCHAND JP (1985) Contraintes climatiques et espace géographique : les précipitations et l'Irlande. Paradigme Caen. 336p
- MARCHAND JP (1986) : « Les calamités agricoles d'origine atmosphérique : l'exemple de l'Ille et Vilaine », Revue de géographie de Lyon, n°3, p. 319-328.
- MARCHAND JP (1992) : « Le mythe de l'eau en Irlande », Colloque l'eau, mythes et réalités. Dijon
- MARCHAND JP (1977) : in colloque « paysages ruraux européens ». Rennes. P 315-326.
- MARCHAND JP (1990) : Le climat : de l'analyse spatiale au stéréotype. Etudes rurales n° 118-119. p83-101.
- ZWIRN H. (2003) : La complexité, science du XX^e siècle ? Pour la science n°314. p28-29.

VARIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS SAISONNIÈRES AU SÉNÉGAL ORIENTAL ET EN HAUTE CASAMANCE

J.-B. Ndong

Laboratoire de Climatologie et d'environnement - Département de Géographie
Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal
e-mail : jbondong@hotmail.com

Résumé : La sécheresse observée depuis le début des années 1970 jusqu'au milieu des années 1990 a des conséquences souvent tragiques dans les pays sahéliens, ce qui explique et justifie l'intérêt constant porté à ces régions. Le Sénégal appartient aux domaines climatiques sahélien et soudanien. Or, la sécheresse se fait également ressentir dans la partie sud du pays. Les conséquences de cette sécheresse sont généralement moins sévères et moins dommageables dans cette partie. Dans cette étude, nous nous intéressons à la pluviométrie annuelle. Ce travail a été fait dans un contexte local (variations observées au point de mesure), mais également dans un contexte régional spatialisé : le Sénégal Oriental et la Haute Casamance.

Mots-clé : Précipitations saisonnières, Sénégal Oriental, Haute Casamance, sécheresse, évolution climatique.

Introduction

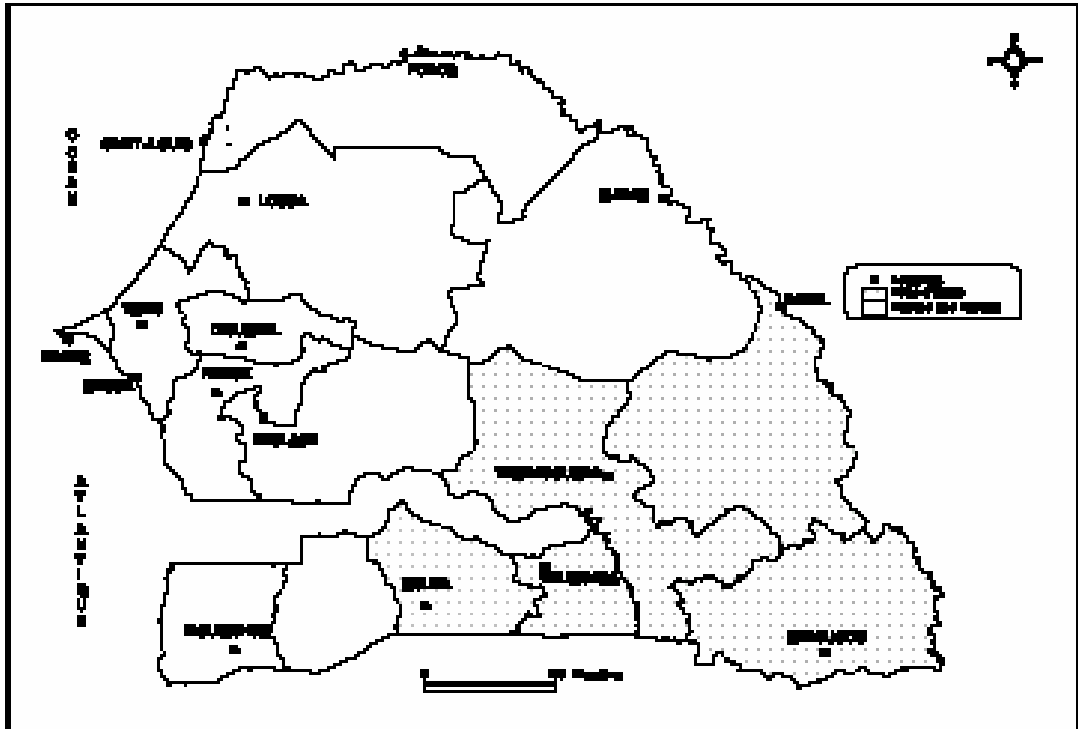
Depuis le début des années 1970, d'importants déficits pluviométriques ont caractérisé l'évolution climatique des principales régions du Sénégal Oriental et de la Haute Casamance. Le déficit pluviométrique s'est accompagné d'une désorganisation dans le temps et dans l'espace des précipitations saisonnières. De plus en plus, la saison sèche de novembre à avril s'allonge, ce qui induit le raccourcissement du premier épisode pluvieux ou des retards de démarrage des pluies. Au Sénégal Oriental et en Haute Casamance, comme partout ailleurs sous les tropiques humides l'agriculture est essentiellement pluviale et fortement tributaire de la distribution saisonnière des précipitations. Les plantes cultivées et leurs rendements sont donc dans l'étroite dépendance des précipitations, de leur durée, de leur répartition, de leur abondance ou de leur déficit. L'éventail des cultures est d'autant plus réduit que les pluies sont en moyenne faibles, c'est-à-dire selon que l'on va du sud vers le nord du pays. Cette étude porte uniquement sur la saison des pluies, c'est-à-dire de mai à octobre. Nous évaluons dans un premier temps les variations de la pluviométrie annuelle. Ensuite nous calculons dans un second temps les indices pluviométriques pour chacun des postes étudiés. Enfin, nous faisons les tracés comparatifs des courbes d'isovaleurs d'indices pluviométriques.

1. Le domaine d'étude et les données

1.1 Le domaine d'étude

La zone d'étude couvre les trois départements de la région de Tambacounda à savoir Bakel, Tambacounda, Kédougou et deux des trois départements de Kolda à savoir Vélingara et Kolda en Haute Casamance (fig. 1).

Fig. 1 : Carte de situation de la zone d'étude



La région de Tambacounda est à la fois la plus vaste du pays (près de 60 000 km², la moins peuplée et l'une des plus mal connues. Longtemps enclavée son accès s'est amélioré mais demeure difficile. Elle a des potentialités certaines (Parc National du Niokolo Koba, or, fer, marbre, importantes réserves en eau...) et des handicaps sévères (éloignement, enclavement, onchocercose et trypanosomiase, importances des superficies cuirassées...). C'est également une région frontalière qui met en contact le Sénégal avec tous ses voisins : la Gambie, le Mali, la Guinée Bissau, la Guinée Conakry et la Mauritanie.

La Haute Casamance va de la Koulountou jusqu'à Kolda. Elle offre un paysage de lateaux drainés par un réseau hydrographique saisonnier et recouverts par une forêt à feuilles caduques, des taillis de combrétacées et, par place, des peuplements de bambous.

1.2. Les données

Les données sont constituées par les cumuls mensuels des précipitations estivales

des stations de Bakel, Tambacounda, Kédougou, Vélingara et Kolda. Seules les stations possédant des données remontant jusqu'en 1951 ont été retenues. Ces données ont permis :

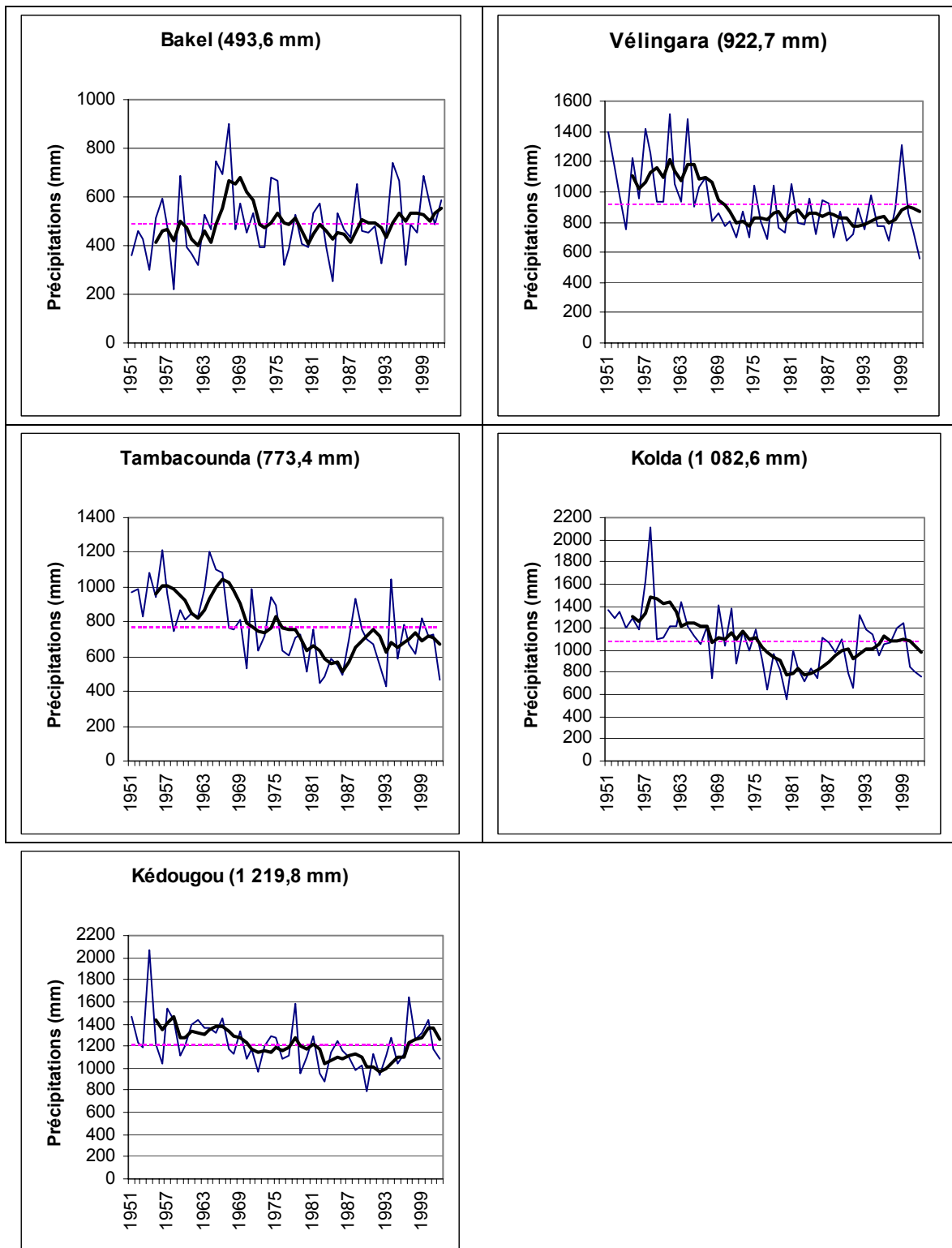
- d'évaluer les variations de la pluviométrie annuelle ;
- de calculer les indices pluviométriques pour chacun des postes étudiés ;
- de faire le tracé des zones d'isovaleurs d'indices pluviométriques.

2. Les variations annuelles du régime pluviométrique

Les principaux postes pluviométriques retenus pour cette étude montrent que les hauteurs pluviométriques enregistrés à Bakel (zone sahélienne) et Kédougou (zone sud soudanienne) et dont les moyennes pluviométriques interannuelles sur 52 ans sont respectivement de 493,6 mm et 1 219,8 mm, représentent assez bien les variations de la pluviométrie annuelle du Sénégal Oriental et de la Haute

Casamance (fig.2). On s'aperçoit que les variations d'une année à l'autre sont souvent importantes et les graphiques des suites chronologiques des totaux pluviométriques permettent difficilement de déceler une tendance.

Fig. 2 : Pluviométrie annuelle (période 1951-2002)



2.1. La période humide 1951-1969

La période humide montre la grande variabilité du climat dans la zone d'étude. En effet, les séquences sèches n'interviennent pas les mêmes années. Bakel qui appartient au domaine sahélien connaît une très grande variabilité interannuelle : phases sèches de 1951 à 1954, 1957, 1958, 1960 à 1962, 1964 et 1968. Tambacounda qui fait partie du domaine nord soudanien compte seulement 3 années sèches : 1958, 1967 et 1968. En ce qui concerne les stations du domaine sud soudanien, Kolda ne compte que 2 années sèches (1966 et 1968) ; Vélingara (1954, 1965, 1968 et 1969). Kédougou, par contre, qui est la station la plus arrosée compte 7 années déficitaires : 1953, 1955, 1956, 1959, 1960, 1967 et 1968.

2.2. La période sèche 1970-2002

Cette dernière période retiendra particulièrement notre attention. Même si on constate une certaine concordance entre les périodes humides et les périodes sèches pour l'ensemble de la région, il existe cependant une certaine hétérogénéité. Généralement, les contrastes entre les périodes excédentaires et déficitaires sont plus nets au Sénégal Oriental notamment à Bakel et à Tambacounda qu'en Haute Casamance. En effet, dans cette dernière région, les sécheresses catastrophiques sont moins fréquentes, alors que le nord de la zone est presque toujours très éprouvé. Mais il faut préciser que les inondations sont souvent catastrophiques en Haute Casamance notamment à Kolda (c'est le cas de l'hivernage 2003).

Durant cette période, nous pouvons relever quelques années humides communes aux 5 stations. Il s'agit de 1975, 1978, (sauf à Kolda), 1994 et 1999. Les stations sud soudaniennes se singularisent par la nette amélioration de la pluviométrie à la fin de la décennie 1991-2000. En effet, les précipitations sont excédentaires à Kédougou en 1997, 1998, 1999 et 2000. A Kolda, les années 1992 à 1994, 1998 et 1999 sont excédentaires.

Conclusion

Le premier handicap dont souffrent le Sénégal Oriental et la Haute Casamance est leur éloignement de Dakar. Tous les produits sont plus coûteux à l'achat et moins chers à la vente. Cette position déjà défavorable à toute la région est encore plus difficile pour certaines zones enclavées. Alors que dans le Fouta Djallon voisin la saison agricole est presque ininterrompue grâce aux cultures irriguées, au Sénégal Oriental et en Haute Casamance elle est strictement liée à la saison des pluies. Cependant, les conditions pluviométriques sont propices à la culture des différentes variétés qu'on trouve au Sénégal et singulièrement le coton, qui est développé par la Société de Développement des Fibres Textiles (SODEFITEX).

Références bibliographiques

- BOULET J., 2000. Systèmes de production agricole et gestion de l'espace au Sénégal Oriental et en Haute Casamance.
- Convention UCAD, IRD, SODEFITEX. Programme Sénégal Oriental, 149 p.
- LEPRUN J. C. et al., 1995. Les sécheresses de la région Nordeste du Brésil et leurs conséquences. Sécheresse ; 6 : 23-33.
- NDONG J.-B., 1999. Etude du climat au Sénégal Oriental et en Haute Casamance.
- Convention UCAD, IRD, SODEFITEX. Programme Sénégal Oriental, 130 p.
- NICHOLSON S.E., KIM J., HOOPINGARNER J., 1988. Atlas of african rainfall and it interannual variability. Tallahassee, Florida State University.
- PATUREL J.-E. et al., 1995. Manifestations de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. Sécheresse, 6, 95 – 102.

**VAGUES DE CHALEUR :
L'ÉVÉNEMENT D'AOÛT 2003 ET LES EFFETS SUR LA SANTÉ**

M. Nicolella, L. Tedeci et E. Cadum

ARPA Piemonte - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio
Corso Unione Sovietica 216, 10134 Torino - Italie

e-mail : mariaelena.nicolella@csi.it

Mots clés : conditions météorologiques, température de l'air, chaleur, malaise.

Abstract: The paper presents the analysis of the event we had during summer 2003 and the description of the physical troubles connected to this phenomena

Introduction

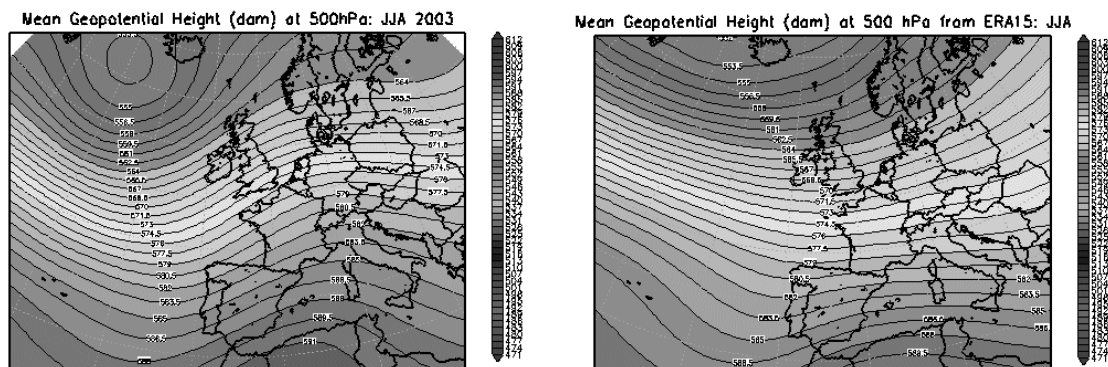
Les études épidémiologiques indiquent que l'exposition aux conditions météorologiques extrêmes (températures trop chaudes ou froides) est associée à l'augmentation de la mortalité à cause des maladies cardiovasculaires et respiratoires. Ce rapport synthétise les aspects météorologiques importants de l'été 2003 à Turin (période du 1^{er} juin au 30 août 2003), caractérisé par un temps ensoleillé avec des températures très au-dessus de la moyenne mensuelle et saisonnière et des conditions de privation physique pour la population associées à des sensations de chaleur étouffante, particulièrement importante en ces jours. La mortalité dans la période considérée a enregistré un surplus de 592 morts par rapport à ce qu'on avait estimé avec un modèle de régression. Par rapport à l'été 2002, la différence a été de 502 morts, avec une augmentation de 33% (résultats de l'analyse préliminaire).

1. Le climat dans l'été 2003 à Turin

L'été 2003 a été une saison extraordinaire à cause des valeurs de température anormales et très élevées, avec persistance de ces températures supérieures à la moyenne climatologique : en effet, à partir du mois de juin et jusqu'à la moitié du mois d'août, les températures minimales et maximales sont restées supérieures à la moyenne pendant plusieurs jours consécutifs.

Pendant l'été, les précipitations ont été inférieures aux valeurs climatologiques, bien que la différence ait été minimale. L'été 2003 a été caractérisé par l'influence continue de l'anticyclone nord-africain sur notre région ; les interruptions provisoires ont été provoquées par des irruptions d'air froid qui déterminaient de brefs phénomènes orageux et une diminution des températures pendant une période non supérieure à deux jours. Cette structure anticyclonique a été persistante pendant presque tout l'été météorologique, grâce à sa grande extension soit en longitude soit en latitude. Pendant les mois de juin, juillet et août (fig. 1, carte à gauche) on remarque la présence d'un promontoire de hautes pressions très évident dans l'Europe centrale, qui ne paraît pas dans la climatologie (fig. 1, carte à droite).

Fig. 1 : Comparaison entre la configuration météorologique des mois de juin, juillet et août de l'an 2003 (à gauche) et de la période climatique 1979-1993 (à droite)



La plus grande extension a été atteinte par la structure anticyclonique qui a eu lieu au cours de la première décennie d'août, quand on a relevé des valeurs de température très élevées sur le bassin de la Méditerranée (fig. 2).

Les valeurs de température plus élevées ont été enregistrées dans les premiers dix jours d'août dans la ville de Turin, dans le Piémont, et dans les différentes localités italiennes et européennes. En particulier, la valeur de pic a été atteinte le 11 août 2003 avec 40,5°C, qui représentent le record historique pour le mois d'août en considérant les données de la station Torino Ufficio Idrografico pour la période 1951-1999 et de la station Torino Buon Pastore relativement aux années 1991-2003. La figure 3 représente les températures maximales du 11 août 2003 relevées au sol par le réseau de monitoring météorologique de l'ARPA Piemonte.

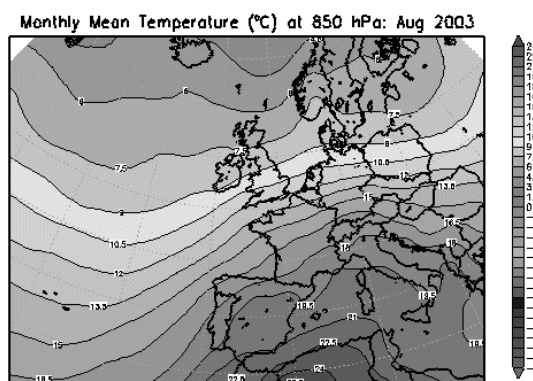
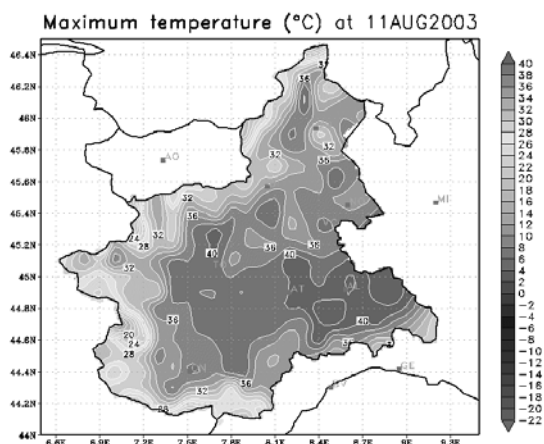


Fig. 2 : Température moyenne à 850 hPa (1500 mètres environ) du mois d'août 2003



Le zéro thermique dans la région du Piémont s'est maintenu à 4000 mètres pendant toute la période considérée : tout cela a provoqué des températures élevées non seulement dans la plaine, mais aussi dans les localités de montagne. La présence d'humidité a été plus importante en juin et, avec les hautes températures, elle a provoqué des conditions de chaleur étouffante. Du point de vue des précipitations, elles ont eu la plupart du temps un caractère orageux ; en juin, elles ont été en accord avec la valeur moyenne, tandis qu'en juillet et dans la première moitié d'août, elles ont été inférieures à la moyenne et ont contribué à l'aggravation des conditions actuelles de sécheresse au cours de 2003 en raison du manque des précipitations d'hiver et, surtout, du printemps.

Fig. 3 : température maximale du 11 août 2003 en Piémont

2. Indices météorologiques

Pour l'évaluation du malaise physique et de la température apparente ressentie par la population, nous avons calculé l'indice 'Humidex', qui exprime le bien-être climatique par rapport à la température et à l'humidité relative. On a choisi cet indice parce qu'il est facilement compréhensible même à ceux qui, normalement, ne s'occupent pas du problème de la chaleur étouffante (mesure en °C équivalents).

Pour le calcul de cet indice, on a utilisé la formule suivante : $H = T + 5/9 * (e-10)$

où T = température de l'air (°C)
e = pression de vapeur de l'air (hPa)
(la pression de vapeur de l'air a été estimée en partant de l'humidité relative)

L'échelle des valeurs de l'indice de chaleur (HUMIDEX) et le niveau de malaise relatif sont reportés dans le tableau qui suit :

moins de 29	Peu de gens ressentent du malaise.
de 30 à 34	Sensation de malaise plus ou moins significative.
de 35 à 39	Sensation de malaise assez forte. Prudence
de 40 à 45	Sensation de malaise généralisé. Danger. Evitez les efforts.
de 46 à 53	Danger grave. Suspendez les activités physiques.
plus de 54	Coup de chaleur imminent (danger de mort).

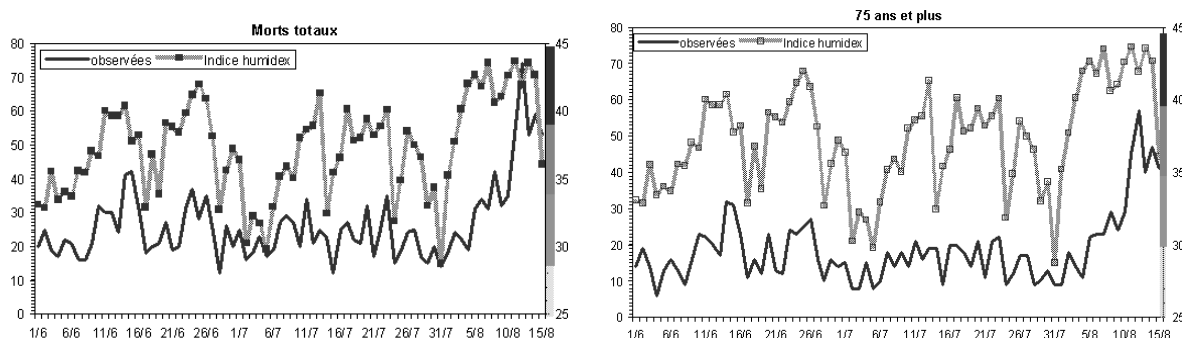
Pour calculer l'indice, nous avons utilisé les données historiques de la station météorologique de Torino Ufficio Idrografico et les données observées de la station météorologique de Torino Buon Pastore.

3. Mortalité

Le train journalier de la mortalité observée dans la période considérée a été comparé avec l'HUMIDEX. Dans la figure 4, on représente la relation entre l'HUMIDEX et les morts totaux (fig. 4, à gauche) et par groupe d'âge (75 ans et plus, fig. 4, à droite).

L'augmentation de la mortalité a été relevée principalement pour les personnes âgées (> 64 ans) et très âgées (> 74 ans), à cause de leur capacité de thermorégulation très modérée et de la prévalence de malades chroniques vulnérables. En outre, la mortalité a été différenciée par sexe, en relevant que les femmes ont été plus frappées, même parce qu'elles sont plus nombreuses et elles ont un âge moyen plus élevé que les hommes. Pendant les trois mois suivants (septembre-octobre-novembre), la mortalité observée est inférieure à l'attendue, même s'il y a un excès dans les premiers jours de septembre, qu'on peut considérer un écho de l'excès de mortalité du mois d'août.

Fig. 4 : relation entre l'HUMIDEX et les morts totaux (à gauche) et par groupe d'âge (75 ans et plus à droite).



Conclusions

Pendant l'été 2003, on a eu presque en manière continue des conditions critiques en ce qui concerne le bien-être climatique des gens, en relation avec l'évaluation conjointe de la température et de l'humidité : on a relevé 20 jours avec des situations de danger dû au malaise physique, 54 avec des situations d'extrême prudence et seulement 2 avec des situations de prudence.

Etant donné que ces vagues de chaleur peuvent se représenter, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de prévention, soit à l'égard de la population, soit des sous-groupes plus sensibles, à condition que tous les acteurs et les institutions compétentes soient mis en alerte à temps et aient élaboré des plans d'intervention à cet effet.

En Italie, on va expérimenter la réalisation d'un système d'alerte qui prévoit l'utilisation d'un modèle capable de fournir des prévisions d'effets sur la santé par l'estimation de l'excès de mortalité prévu et par la persistance de conditions météorologiques « à risque ». Ce système, à mettre en œuvre dans l'été 2004, a le but de mettre en évidence des niveaux d'« attention », « alerte », « urgence » au moyen de l'émission d'un bulletin journalier qui signale s'il y a des conditions à risque pour le jour même et pour les deux jours suivants, en permettant des interventions différenciées en relation à la gravité de l'alerte prévue.

Les résultats de cette étude, grâce au réseau d'enregistrement de mesures à mailles serrées de la région Piémontaise, ont permis de découvrir les zones du territoire plus sensibles à la vague de chaleur de l'été 2003 et de répartir les financements destinés aux mesures de prévention.

Références bibliographiques

Servizio Meteorologico Canadese: www.weatheroffice.pyr.ec.gc.ca/ne.htm

Masterson, J.M., and F. A. Richardson, 1979: Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity, CLI 1-79, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, 45 pp.

Morabito M., Bacci L., 2002: Gli indici biometeorologici nella valutazione dello stato di benessere dell'uomo

Costa G., Colombo S., Zanetti R., D'Ambrosio R., Rosso S., Ponti A., Segnan N. Stato di salute della popolazione a Torino. Cause di morte nei residenti, anno 1982, USL 1/23, Torino 1984

Kalkstein LS , Jamason PF , Greene JS, Libby J, Robinson L. The Philadelphia Hot Weather-Health Watch/Warning System: Development and Application, Summer 1995. Bulletin of the American Meteorological Society 1996;1519-28.

Michelozzi P, Fano V, Forastiere F, Barca A, Kalkstein LS, Perucci CA. Weather conditions and elderly mortality in Rome during summer. Bulletin of the World Meteorological Organization 2000; 49(4):348-355.

MISE EN ÉVIDENCE D'UN CHANGEMENT DANS LA VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE AU BÉNIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

E. Ogouwale, I. Yabi et M. Boko

Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE) - Université d'Abomey-Calavi – Cotonou, Bénin

Résumé : L'étude, montre à partir d'une analyse comparative des séries pluviométriques (normales 1941-1970 et 1971-2000) que le Bénin depuis les années 70, est sujet à un changement dans la variabilité pluviométrique.

Mots clés : Variabilité pluviométrique ; tendance ; changement ; rupture ; Bénin.

Abstract: The comparative diagnosis of the number of rain days, rainfall indices and tendencies etc, permit to notice changes in the status of rainfall variability over the periods 1941-1970 and 1971-2000.

Key words: Rainfall variability; tendency; change; rupture; Benin.

Introduction

Le Bénin, est affecté par l'anomalie climatique du golfe de Guinée. La plupart des études réalisées se sont focalisées sur la variabilité des paramètres climatiques (Boko, 1988) et alors que de plus en plus on se rend compte, au regard de l'analyse des séries que des changements s'opèrent dans la variabilité des précipitations.

1. Stations choisies, données et méthodes

La présente étude vise à analyser la "métamorphose" de la variabilité pluviométrique enregistrée sur une longue série divisée en deux "normales", 1941-1970 et 1971-2000. A cet effet, les séries pluviométriques annuelles et mensuelles des six stations synoptiques du Bénin ont été collectées. Mais en raison des lacunes, la station de Cotonou Aéroport à été remplacée par le poste climatologique de Ouidah située à la même latitude et a proximité de la station de Cotonou-Aéroport. La figure 1 présente le Bénin en Afrique de l'Ouest et la répartition des stations choisies, pour l'étude.

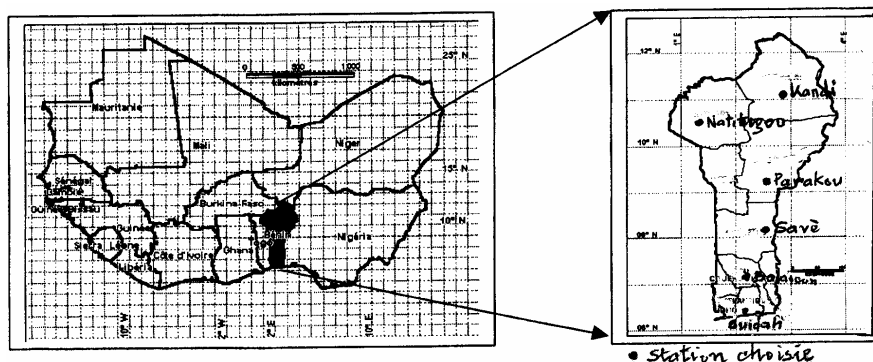


Fig. 1 : Répartition géographique des stations choisies

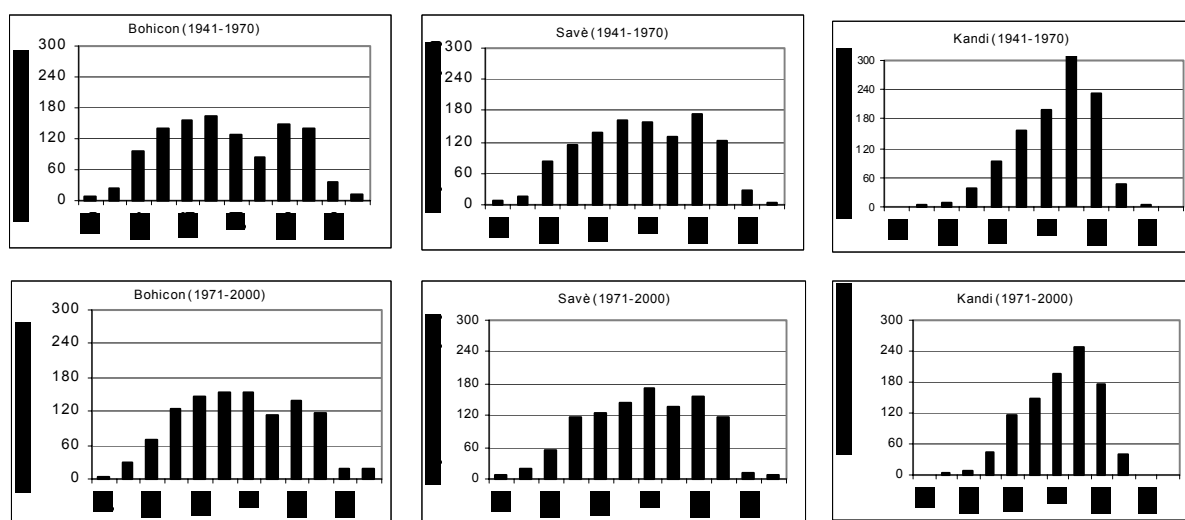
Le cumul du nombre de jours de pluie (ΣN_{jp}), l'étalement des saisons et les séquences sèches et pluvieuses, de la "normale" 1941-1970 ont été analysés et comparés à ceux de la

normale 1971-2000. Le calcul des indices pluviométriques sur la série 1941-2000 est fait à partir de la formule $\frac{X_i - X_{moy}}{\sigma}$, où X_i est la variable étudiée pour une année, X_{moy} la pluviométrie moyenne et σ l'écartype de la série. Le test de stationnarité de Man-Kendall a permis de cerner les ruptures et l'évolution de la pluviométrie.

2. Résultats

La figure 2 indique que les mois de février, de juillet et de décembre sont plus humides et le mois de juin sec entre 1971-2000 par rapport aux mêmes mois de la période 1941-1970 pour les stations de Bohicon et de Savè. En outre, pour ces mêmes stations, on note un déplacement du mois de maximum pluviométrique de juin en juillet. A Kandi, l'humidité du mois de décembre (1941-1970) disparaît totalement et les mois d'octobre, de septembre et de novembre deviennent moins humides au cours de la période 1971-2000. En revanche, les mois d'avril et de mai deviennent plus humides.

Fig. 2 : Régimes pluviométriques entre les périodes 1941-1970 et 1971-2000



L'évolution des régimes pluviométriques mensuels moyens montre que le statut de la variabilité au cours de 1971-2000 a connu un changement. La figure 3 indique la dynamique (%) des jours pluvieux.

Le nombre de jours pluvieux a régressé en général de 6 %. La figure 4 illustre les tendances et ruptures pluviométriques toutes stations confondues.

L'évolution des indices pluviométriques est contrastée et montre que la période 1971-2000 est plus marquée par des séquences sèches. Les ruptures se sont produites à partir de 1975. Le tableau 1 résume la baisse des hauteurs pluviométriques moyennes de la période 1971-2000 comparées à celles de 1941-1970.

Tab. 1 : Evolution (%) de la moyenne pluviométrique par station ciblée

Stations	Ouidah	Bohicon	Savè	Parakou	Kandi	Natitingou
Evolution (%) de la pluviométrie moyenne	-13.90	-5.21	-7.77	-1.32	-9.94	-15.50

Source : Résultats de calculs à partir des fichiers pluviométriques de l'ASECNA, 2002

Fig. 3 : Evolution du nombre de jours de pluies entre 1941-1970 et 1971-2000

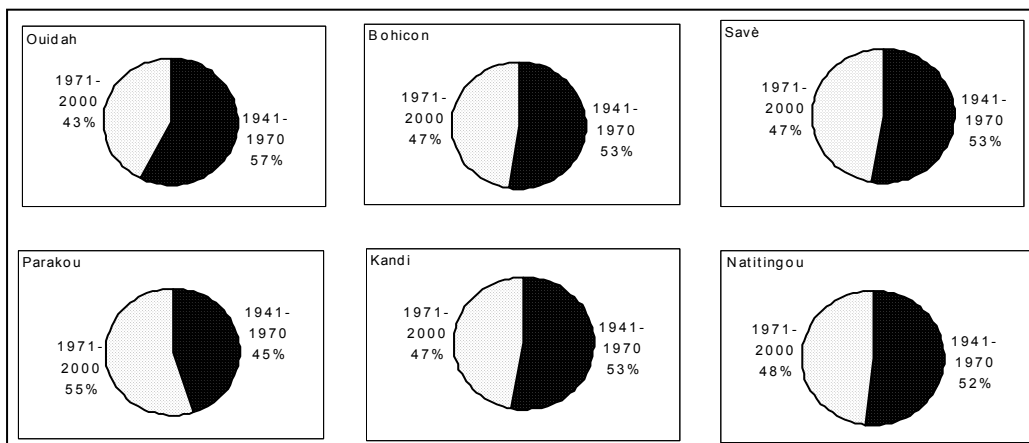
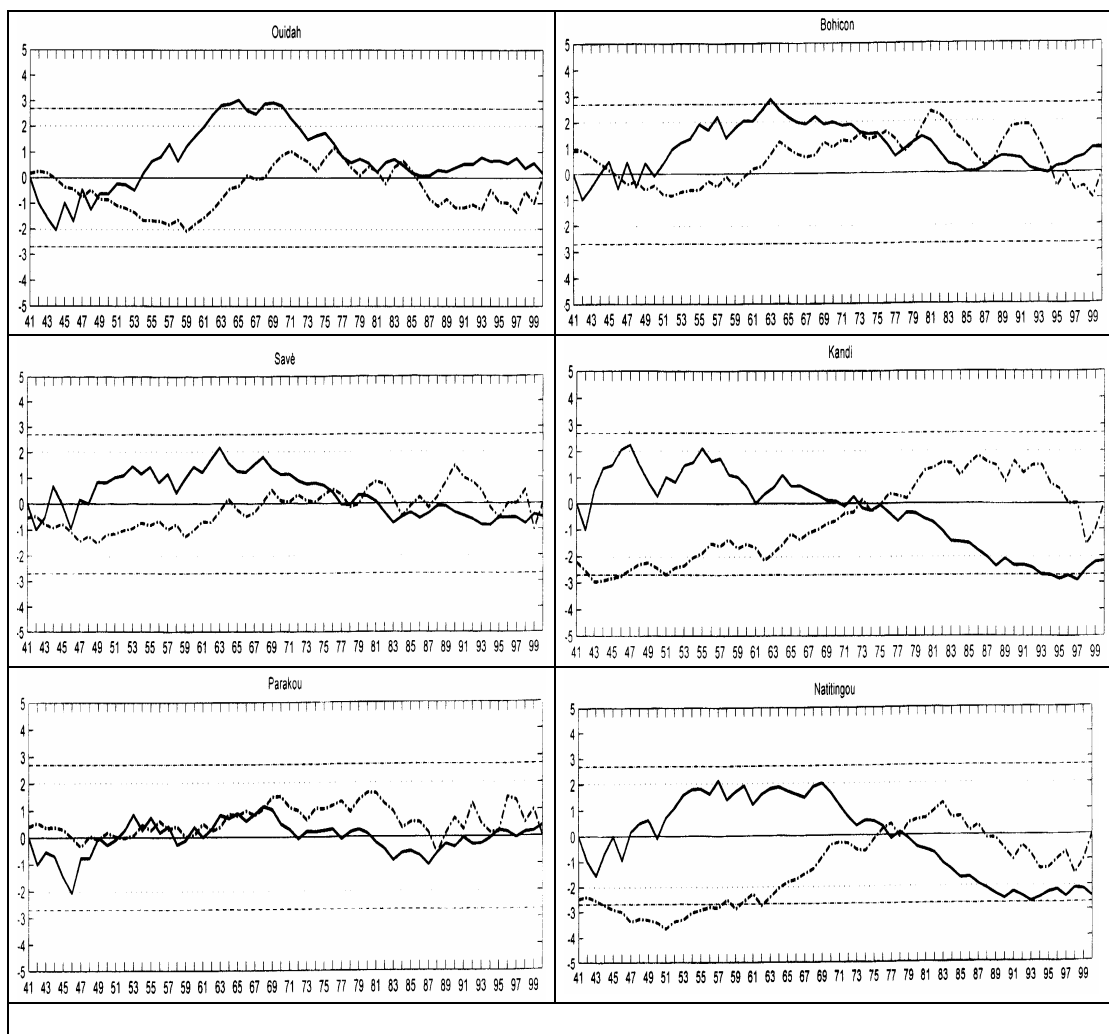


Fig. 4 : Tendances et ruptures pluviométriques (1941-2000) au Bénin



La pluviométrie en terme de cumul trentenaire est marquée par une baisse comprise globalement entre 3 et 10%, toute station confondue. Parakou reste stationnaire, mais Natitingou et Ouidah, distantes de 600 km, connaissent une baisse de même grandeur (10%).

Conclusion

La présente étude, permet d'identifier les changements intervenus dans les continuums pluviométriques béninois. Il s'ensuit que :

- le Bénin est sujet à de fortes variabilités pluviométriques, et que la "normale" 1941-1970 a été plus arrosée que celle de 1971-2000 ;
- les répartitions spatio-temporelles des précipitations au cours de la "normale" 1971-2000 en comparaison avec celle de 1941-1970 ne sont en rien superposables et la baisse des moyennes pluviométriques est significative pour 50% des stations échantillonnées avec des déficits plus accusés pour les stations de Ouidah (13,90%) et de Natitingou (15,50%) ;
- les ruptures pluviométriques majeures au Bénin sont intervenues dans les 1975 et témoignent des grands bouleversements climatiques qui s'imposent désormais ;
- le passage d'un statut humide à un statut sec ou moins humide de certains mois, etc. est l'un des indicateurs de changement dans la variabilité pluviométrique ;
- la variabilité pluviométrique au Bénin est changeante d'une période à une autre. Et on note que les différentes régions du Bénin sont différemment affectées.

Références bibliographiques

AFOUDA F., 1990 : L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de doctorat nouveau régime. Paris IV Sorbonne. 428p.

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.

BOKONON GANTA E. B., 1987 : Les climats de la région du Golfe du Bénin. (Afrique Occidentale). Thèse de doctorat du 3ème cycle. Paris IV, Sorbonne. 248p + Annexes.

HOUNDENOU C., 1999 : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de doctorat nouveau régime. Dijon. 382 p.

PERARD J., 1992 : Estimation des contraintes climatiques en Afrique tropicale, approche méthodologique. Publication de l'AIC, 12 : 99-104.

YABI I., 2002 : Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8°N au Bénin. Mémoire de maîtrise. FLASH/UAC, Abomey-Calavi. 96p.

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE GLOBAL ET EXPANSION GÉOGRAPHIQUE DE LA DENGUE DANS LE SUD DU BRÉSIL

E. V. Paula, F. Mendonça et M. M. F. Oliveira

UFPR / Laboclima – C. Politécnico – J. Américas. Curitiba/PR. Brésil.

e-mail : eduardo@simepar.br

Résumé : Quelques maladies réagissent directement aux changements climatiques; c'est le cas de la dengue. L'augmentation de l'indice d'occurrences de cette maladie dans la région accompagne le réchauffement climatique régional observé actuellement, dans la région Sud du Brésil.

Mots-clefs : Effet de serre – dengue – expansion géographique – sud du Brésil.

Abstract: Some illnesses - likes dengue's fever - are directly influenced by the climatic changes. The increase of that illness occurrence on the South of Brazil region is observed at the same time that the regional climate became warmer.

Key-words: Greenhouse effect – dengue fever – expansion - South of Brazil.

Introduction

Le réchauffement global constitue un des principaux problèmes actuel de la société, tant de par le défi que représente une connaissance plus approfondie du sujet que de par ses possibles répercussions sur la vie des hommes dans la société présente et future.

Parmi les maladies récurrentes, la dengue représente, actuellement, la plus importante arbovirose qui affecte l'homme et pose un sérieux problème de santé publique dans le monde. Dans les pays tropicaux, en particulier, il est possible d'observer que les conditions environnementales associées à l'inefficacité des politiques de santé publique, favorisent le développement et la prolifération de l'*Aedes aegypti*, principal moustique vecteur.

Cette approche présente une réflexion sur quelques répercussions que les changements climatiques peuvent avoir sur les conditions de santé de la population. Les répercussions mentionnées se réfèrent à des incidences de la dengue dans la Région Sud du Brésil (Carte1).

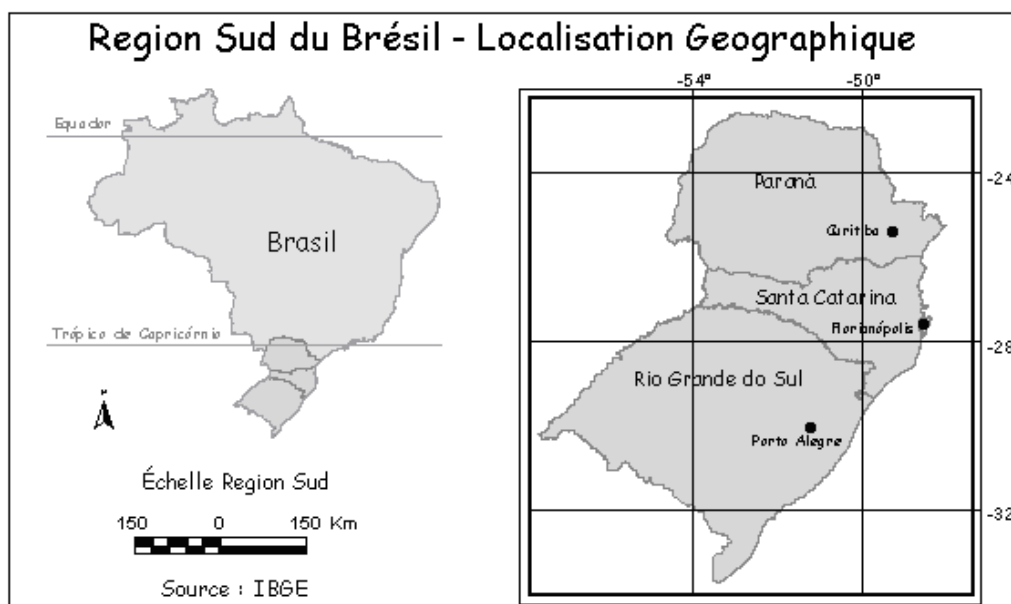
1. Méthodes et procédés de la recherche.

Pour l'étude de la dengue dans la Région Sud du Brésil, les données relevées couvre la période comprise entre les années 1998 et 2003, fournies par le SINAN (Système d'Informations Nationale du Relevé des Recrudescences) et le SUS (Système Unifié de Santé) du Ministère de la Santé du Brésil. Les données météorologiques, concernant la même période, ont été fournies par l'INMET (Institut National de Météorologie) du Ministère de l'Agriculture du Brésil.

Les données supramencionnées, comme celles de la population cédées par le IBGE (Institut Brésilien de Géographie et de Statistiques) ont été traitées statistiquement par le programme Micosoft Excel, puis organisées sous forme de banque de données dans le programme Microsoft Access.

Par la suite, cette banque de données a été mise en relation avec le programme Arc view GIS 3.3, qui a servi au développement de la représentation spatiale de la maladie analysée, sur des bases cartographiques fournies par l'IBGE.

Carte 1



2. Expansion de la Dengue dans la Région Sud du Brésil

Dans la Région Sud du Brésil, les premiers enregistrements de cas de dengue datent de 1993. Cependant, c'est à partir de 1995 qu'ont commencé à être enregistrées d'importantes épidémies, en particulier, dans l'état du Paraná. Parmi ces épidémies, celle qui a été la plus remarquable, a été celle de 2003, où le nombre de cas confirmés a dépassé le chiffre de 9.300 dans le Paraná (SINAN/SESA-PR). À Curitiba, la capitale de l'État, la préoccupation provoquée par la dengue n'a jamais été aussi importante qu'aujourd'hui, car jusqu'en 2001, la ville était considérée par la FUNASA (Fondation Nationale de la Santé) comme une des villes infectées par le vecteur, sans pour autant transmettre la dengue. En avril 2002, les deux premiers cas autochtones de la maladie ont été enregistrés (Paula, 2003 ; Fernandes Oliveira, 2003), alors que la même année, on enregistrait les températures estivales les plus élevées des dernières décennies.

Des 957 hospitalisations enregistrées dans la Région Sud, dans la période de 1998 à 2003, 88,30% d'entre elles ont eu lieu dans le Paraná, seulement 6,37% dans l'État de Santa Catarina et 5,5% dans celui de Rio Grande do Sul (tab. 1). En ce qui concerne l'évolution annuelle des enregistrements, on remarque une augmentation du coefficient d'incidence, surtout dans les deux dernières années, où 383 hospitalisations ont été enregistrées en 2002 et 482 en 2003.

Tab. 1 : Dengue : Variation Annuelle (hospitalizations) - Région Sud (1998-2003)

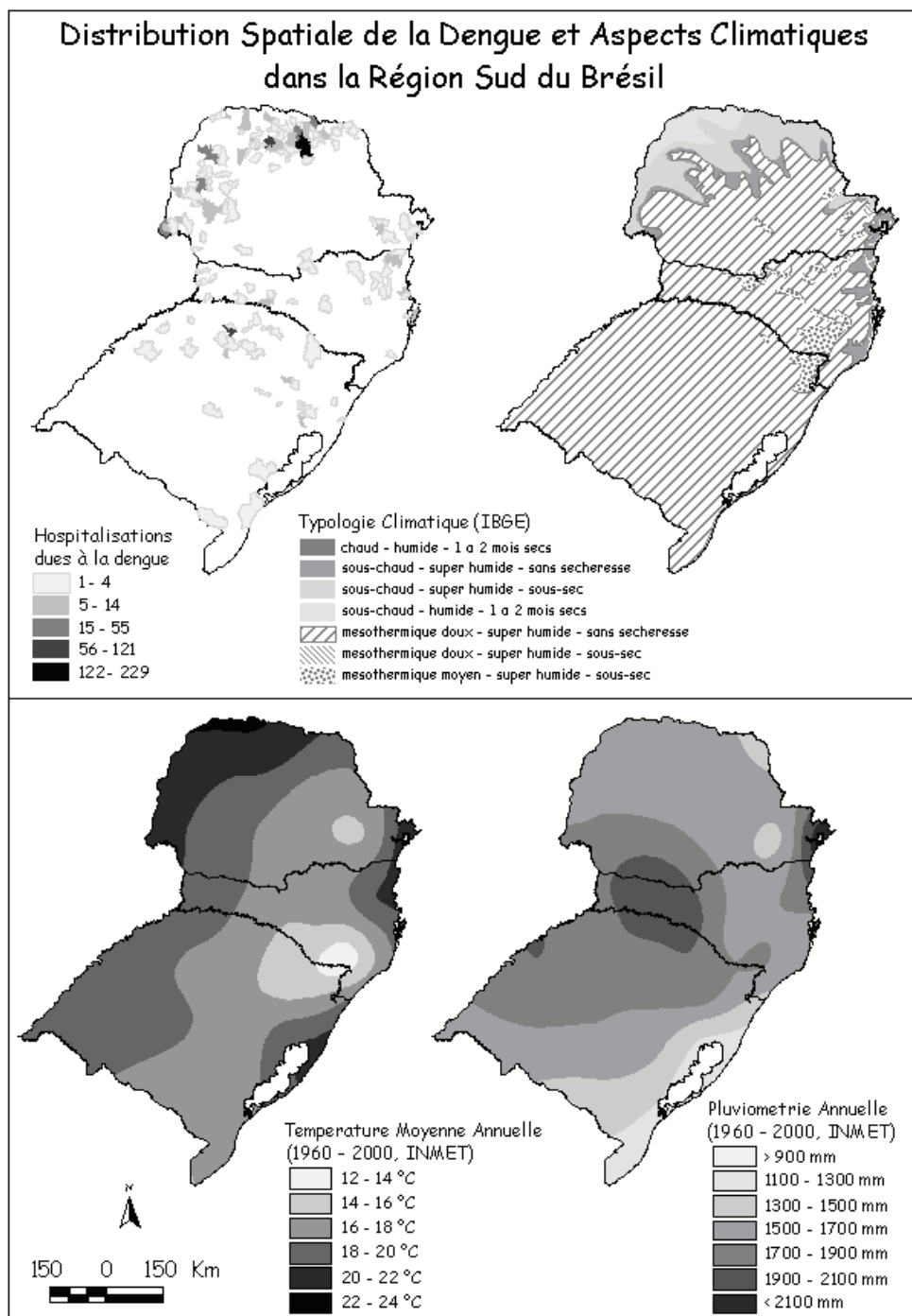
Année	Paraná	Santa Catarina	Rio Grande do Sul	Total	Coef.* Inc.
1998	17	1	2	20	0.08
1999	6	2	0	8	0.03
2000	22	4	5	31	0.12
2001	24	4	5	33	0.13
2002	308	40	35	383	1.53
2003	468	10	4	482	1.92
1998/2003	845	61	51	957	0.64
%	88.30	6.37	5.33	100.00	

* Coefficient pour 100.000 habitants -

Source: DATASUS

La distribution spatiale (carte 2) des hospitalisations pour cause de dengue dans la Région Sud démontre une plus importante concentration d'enregistrements dans la partie nord/nord-ouest, ouest/sud-ouest dans l'État du Paraná (type CFa), dans l'ouest et le nord-ouest de Santa Catarina et le nord-ouest de Rio Grande do Sul. Dans ces parties de la région sud prédominent les types climatiques sous-chauds (cf. classification de IBGE) avec un été chaud et c'est dans ces localités que l'on enregistre les moyennes thermiques/thermales les plus élevées de la région, variant de 20°C à 24°C.

Carte 2



Quelques conclusions

Le réchauffement de l'atmosphère terrestre, malgré les divergences conceptuelles et d'approbation actuelles, correspond à une réalité. Les divergences tournent, surtout, autour des considérations qui concernent les causes et les conséquences du phénomène. Une des conséquences les plus inquiétantes concernent les répercussions de l'intensification de l'effet de serre planétaire sur la santé des hommes.

Dans le contexte actuel, quelques maladies ont reconquis du terrain. Autrement dit, elles avaient été contrôlées et soudain elles présentent des taux d'incidences inquiétants, contaminant partiellement la population, en particulier celle qui vit dans des conditions de pauvreté. La dengue, une des maladies considérées réurgentes ou réapparues, représente une préoccupation pour la société brésilienne et pour le gouvernement du pays.

Dans l'étude présente, on observe une intensification des enregistrements de cette maladie dans la partie Sud du Brésil, zone, il y a peu, indemne de cette maladie. Simultanément, on observe dans la région, une intensification du réchauffement climatique et de son taux d'humidité, aspects qui ont conduit un groupe de chercheurs à faire porter leurs recherches sur la corrélation entre les changements climatiques et l'incidence de la dengue dans le sud du Brésil. L'État du Paraná, dont une partie se situe en zone de type climatique chaud et humide (Cfa), présente les plus hauts indices de la maladie dans la région Sud. Les résultats ci-devant présentés ne sont que partiels, et pour cette raison montrent la nécessité d'un approfondissement des autres aspects de l'interaction entre le climat et l'expansion de la dengue dans la région.

Références bibliographiques

- BEJARAN, R. et al. Aplicacion de la prediccion meteorológica para el pronostico de la abundancia potencial del aedes aegypti en Buenos Aires. Curitiba/PR – Brasil: Palestra proferida no V SBCG, 2002. Inédito.
- FERNANDES DE OLIVEIRA, M. M. A dengue em Curitiba: Uma abordagem climatológica do episódio de março/abril-2002. Curitiba: UFPR, 2003. Monografia de conclusão de curso de graduação em geografia. Inédito.
- MENDONÇA, F. Aspectos da interação clima – ambiente – saúde humana: Da relação sociedade-natureza à (in)sustentabilidade ambiental. in: RA'É GA – O espaço geográfico em análise, v. 4, n. 4, 2000, pg.85-100.
- MENDONÇA, F. et al. Tendances climatiques et consequences regionales du rechaufement global dans l'etat du Paraná/Brésil. Dokumentacja Geograficzna, n. 29, Polska Akademia Nauk, pg. 241-244,m 2003.
- MENDONÇA, F. et al. L'incidence de la dengue dnas lê Paaraná et à Curitiba/Brésil: Approche climatologique de la periode 1995-2002. Dokumentacja Geograficzna, n. 29, Polska Akademia Nauk, pg. 253-256,m 2003.
- PAULA, E. V. P. Relatorio de Pesquisa. Curitiba/PR: UFPR/PRPPG/IC/ 2003. Inédito.
- SORRE, M. A adaptação ao meio climático e bio-social – geografia psicológica. In: MEGALE, J. F. (Org.). Max Sorre. São Paulo: Ática, 1984. (Coleção Grandes Cientistas Sociais, 46).

LA DÉTECTION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN FRANCE

S. Planton

Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques
42 avenue Gustave Coriolis - 31057 Toulouse cedex 1

Introduction

L'intérêt porté à la question des changements climatiques n'est pas seulement lié à la conviction, largement partagée par la communauté scientifique travaillant dans le domaine du climat, qu'une modification durable, s'amplifiant au cours du temps, de la concentration des gaz à effet de serre aura un impact significatif sur le réchauffement de la planète. Il provient aussi de la constatation de ce changement et de la possibilité de son attribution aux activités humaines.

La question de la détection consiste à déterminer si l'évolution observée du climat résulte ou non d'une variabilité naturelle interne au système climatique ou est attribuable à un forçage extérieur (variabilité solaire, volcanisme, variation de la concentration des gaz à effet de serre, ...). La question de l'attribution est une question plus précise que celle de la détection. En effet, Il s'agit dans ce cas d'attribuer un signal de changement climatique forcé à une cause particulière de forçage, naturelle ou anthropogénique. Cela suppose non seulement que cette cause puisse expliquer les changements observés mais aussi que toute autre cause soit exclue. Dans cette présentation, nous nous limitons au cas de la détection de changements climatiques.

La détection de changements climatiques a été étudiée depuis une dizaine d'année à partir de données d'observation recueillies à l'échelle de la planète. La première façon d'aborder cette question a consisté à rechercher les indicateurs a priori les plus sensibles à un forçage externe du système climatique, et donc les plus à même de permettre la détection d'un « signal » de changement par rapport au « bruit » de la variabilité naturelle du climat. Ces indices doivent nécessairement reposer sur l'analyse de séries d'observations couvrant plusieurs décennies et même plusieurs siècles si l'on ne s'intéresse pas seulement au climat moyen mais aussi à sa variabilité. La température est le meilleur indicateur des changements climatiques associés à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre. Si quelques séries d'observations couvrent plusieurs siècles, les réseaux d'observations météorologiques régulières en surface ne sont suffisamment denses pour évaluer la température du globe que depuis la moitié du XIX^e siècle. Les indicateurs paléoclimatiques (cernes d'arbres, coraux, carottes de glaciers, ...) permettent quant à eux de reconstituer l'évolution de la température en surface sur des périodes de temps beaucoup plus longues mais avec une précision fortement dégradée. Malgré cette imprécision, les données reconstituées dernièrement sur une période d'environ 1800 ans, permettent de conclure que les années les plus récentes sont très probablement les plus chaudes de la période. Cependant, même s'il apparaît que les observations récentes présentent une tendance au réchauffement très significative, cela ne suffit pas à conclure qu'un signal de changement climatique a été détecté. Il faut en effet exclure l'hypothèse que ce réchauffement puisse être expliqué par la seule variabilité naturelle interne au système climatique. Ce sont en particulier les travaux de Hegerl et al (1996) qui ont permis de conclure à la détection d'un changement climatique à l'échelle planétaire. Ils ont été par la suite prolongés par des études d'attribution de ce changement (voir par exemple Hegerl et al, 1997), qui ont permis au « Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat » de conclure dans son dernier rapport que l'essentiel du réchauffement des cinquante dernières années est attribuable aux activités humaines (Houghton et al, 2001). Cependant, aucune étude de détection des changements climatiques n'a été jusque là conduite à l'échelle d'un pays comme la France. Nous présentons dans la suite une synthèse des travaux menés au cours de ces dernières années sur ce sujet.

1. La méthodologie et les données

Nous avons appliqué la même méthodologie que celle utilisée par Hegerl et al (1996) qui s'inspire elle-même de travaux théoriques publiés par Hasselmann en 1993. Cette méthode appelée « optimal fingerprint » (référéncée dans la suite par les termes « empreinte digitale ») consiste à définir une variable de détection des changements climatiques, fonction du temps, calculée comme une combinaison linéaire des observations. Elle s'interprète mathématiquement comme un produit scalaire entre le vecteur des observations (une ou plusieurs variables en différents points de l'espace) et le vecteur désigné sous le terme d'« empreinte digitale » du changement climatique. Cette combinaison est optimale dans le sens où le vecteur de l'« empreinte digitale » est choisi de façon à maximiser le rapport signal (de changement climatique) sur bruit (de variabilité climatique interne naturelle). Hasselmann (1993) a montré que cette condition revient, dans une base appropriée, à définir ses composantes comme égales aux composantes du signal de changement climatique, pondérées par l'inverse des variances de la variabilité interne naturelle. Cette méthode requiert donc, outre des séries observées, l'estimation du signal de changement climatique déterminé à partir d'un modèle climatique, ainsi qu'une évaluation de la variabilité naturelle du climat. La variable de détection et son évolution étant déterminées, un test statistique est ensuite appliqué afin de répondre à la question posée de la détection. Ce test porte sur l'hypothèse « nulle », c'est-à-dire que l'on cherche à savoir quelle est la probabilité pour que la variable de détection prenne une valeur attribuable à la seule variabilité interne naturelle.

La première condition à l'application de cette méthode est de disposer de séries de données de qualité. Or, les observations des stations météorologiques souffrent de problèmes d'hétérogénéité temporelle dus à différentes sources de rupture dans les séries telles qu'une modification de localisation de la station ou une modification d'instrumentation. Il est donc nécessaire avant toute analyse de détecter ces ruptures et de les corriger. Comme l'historique des mesures de chaque station n'est en général pas suffisamment connu, il est nécessaire de faire appel à des méthodes d'analyse statistique plus ou moins sophistiquées. L'une d'entre elles a été développée par Olivier Mestre (Mestre, 2000 ; Caussinus et Mestre, 2004) puis appliquée aux données du réseau météorologique français mis en place à la fin du XIX^e siècle (Moisselin et al, 2002). Bien que ce travail soit encore en cours, il est d'ores et déjà possible de disposer de séries homogénéisées de température, de précipitations, de pression ou même d'ensoleillement. C'est aux séries de température qu'a été d'abord appliquée la méthode de l'« empreinte digitale ». Plus précisément, les changements climatiques ne pouvant être évalués que sur les évolutions lentes du climat, ce sont les tendances de température sur des périodes de 30ans qui ont été analysées.

Comme nous l'avons vu, il est aussi nécessaire de disposer d'une estimation du signal de changement climatique déterminé à partir de modèles climatiques. Ce signal est tiré de simulations de scénarios de changement climatique en réponse à une modification de la composition chimique de l'atmosphère liée aux activités humaines (gaz à effet de serre et particules). Pour effectuer une détection à l'échelle de la France, les simulations doivent résoudre des échelles spatiales suffisamment fines. Tandis que les simulations de scénarios de changement climatique permettent de résoudre des échelles habituellement de l'ordre de quelques centaines de kilomètres, certaines d'entre elles effectuées au moyen de modèles climatiques dits régionaux, permettent de descendre les échelles résolues à environ 50km. C'est de ce type de modèle dont nous avons exploité les simulations pour calculer le signal de changement de température estimé pour la fin du XXI^{ème} siècle. Trois simulations de changement climatique suivant un scénario d'évolution des gaz à effet de serre et d'aérosols sulfatés relativement médian (scénario B2 du GIEC), réalisées à partir du modèle ARPEGE-Climat à résolution variable de Météo-France (Gibelin et Déqué, 2003), ont ainsi été moyennées pour construire la carte des changements de température à l'horizon 2070-2100.

L'évaluation de la variabilité naturelle est le dernier élément nécessaire à une étude de détection. Les séries climatiques d'une durée d'environ 100 ans ne permettent que d'en estimer une composante partielle. De plus, les observations climatiques récentes, a priori influencées par les effets anthropiques, ne doivent pas être prises en compte, limitant encore davantage la longueur des séries exploitables. Nous avons donc considéré les années 1901-1970 pour établir les caractéristiques statistiques du climat dont nous avons attribué toute la variabilité à la variabilité naturelle. En fait, comme le climat du début du XX^e siècle est aussi affecté par les forçages naturels et anthropiques, cette dernière hypothèse a plutôt pour effet de rendre plus difficile la détection d'un signal. Ces données ont à la fois été utilisées pour déterminer le vecteur de l'empreinte digitale (voir plus haut), mais aussi pour calculer un seuil de significativité pour le test répondant à la question : la variabilité de la variable de détection peut-elle être due à la seule variabilité interne naturelle ou est-elle liée à un forçage externe du climat ?

2. Les résultats

Appliquée aux tendances sur 30 ans des températures minimales journalières d'été, la méthode de l'« empreinte digitale » a permis de détecter un changement au cours des 15 dernières années. Le seuil de significativité à 90% du test portant sur la question énoncée ci-dessus, est franchi plusieurs fois au cours des années récentes traduisant la forte probabilité de cette détection (Spagnoli et al, 2002). Le succès de cette détection caractérise le fait que la répartition géographique des tendances de températures ressemble à ce que le modèle calcule pour le futur. Ce succès traduit donc à la fois l'importance du signal sur ce paramètre et aussi la capacité du modèle à en simuler les évolutions. A l'inverse, la méthode de détection appliquée aux températures hivernales, aux températures maximales d'été, ou encore aux précipitations, ne donne pas de résultats concluants. Cela peut être du au fait que les signaux de changement ne se distinguent pas encore suffisamment du bruit de la variabilité naturelle, ou encore au fait que le modèle n'est pas à même de simuler une répartition géographique des changements futurs qui soit conforme à ce qui est réellement observé sur le passé récent.

Pour autant, la détection d'un signal sur les températures minimales journalières d'été résulte de la seule application d'une méthode statistique. La probabilité de cette détection n'atteint pas un niveau extrêmement élevé et il n'est pas exclu que le seuil ne soit franchi de manière fortuite. Nous avons donc complété l'analyse en essayant de déterminer le mécanisme climatique sous-jacent pouvant interpréter cette détection et afin d'essayer d'en avoir une confirmation indirecte au travers de l'analyse de données observées.

La répartition géographique des changements de température minimale journalière d'été pourrait avoir des causes liées aux modifications de la dynamique atmosphérique, ou à des changements de bilan énergétique en surface. Après analyse de la simulation de changement climatique, il apparaît que le mécanisme expliquant cette répartition est principalement associé à des changements du bilan hydrique qui affectent le bilan énergétique. Sans entrer ici en détail dans la description de ce mécanisme, il résulte du fait que plus le sol est sec, plus l'évapotranspiration est réduite par l'assèchement simulé dans un climat futur et donc, la température augmente davantage puisque l'évapotranspiration refroidit la surface (Planton et al, 2004).

Afin de vérifier si ce mécanisme peut être aussi dominant dans la nature, il serait idéal de pouvoir disposer de mesures du contenu en eau du sol qui seraient susceptibles de montrer que les régions les plus sèches sont bien celles qui se sont le plus réchauffées au cours de ces dernières années. De telles données n'existent pas, cependant, il est possible d'obtenir une reconstitution des bilans hydriques des sols en combinant modèles et observations. La Direction de la Climatologie de Météo-France effectue régulièrement depuis une trentaine d'années un calcul des bilans hydrique des sols en contraignant le modèle hydrique de Jacquart et Choissnel (1995) par les observations du réseau de stations météorologiques français. La comparaison entre la répartition des indices de saturation des sols observés et simulés révèle effectivement une ressemblance significative confirmant indirectement la réalité du mécanisme mis en évidence dans la simulation (Planton et Spagnoli, 2003).

Conclusion

Les études de détection et d'attribution des changements climatiques à l'échelle de la France n'en sont qu'à leurs débuts. Seule l'existence de séries de données de qualité couvrant l'ensemble du territoire et de résultats de simulations climatiques aux échelles régionales permet d'entreprendre ce type d'étude. Les premiers résultats montrent que bien que les tendances de températures soient significatives, la ressemblance entre ce qui est observé et ce que les modèles simulent pour le futur reste limitée puisque seules les températures minimales journalières d'été révèlent la détection d'un signal cohérent. En toute rigueur, ce signal ne peut être attribué aux activités humaines tant que toute autre cause d'évolution n'a pas été exclue. Mais l'analyse des mécanismes sous-jacents de cette détection constitue un pas important vers une attribution anthropique. Elle permet en effet de proposer une interprétation des simulations prenant en compte le rôle des activités anthropiques avec une vérification indirecte de la réalité de ce mécanisme par des observations indépendantes.

Ce que révèle cette étude de détection à l'échelle de la France est bien conforme à ce qui avait déjà été révélé par les études menées à l'échelle planétaire. Nous sommes au début d'un processus de changement climatique dont les premiers signes sont aujourd'hui démontrés dans les observations. Le fait que ces signaux se fassent sentir à l'échelle de notre pays nous alerte sur les impacts potentiels que ces changements pourront avoir en particulier en France.

Références

- Caussinus, H., et O. Mestre, 2004 : Detection and correction of artificial shifts in climate series. *App Statist.*, 53, Part 3, 405-425.
- Gibelin, A.-L., M. Déqué, 2003: Anthropogenic Climate Change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model, *Clim. Dynam.*, 327-339.
- Hegerl, G.C., H. von Storch, K. Hasselmann, B.D. Santer, U. Cubash, et P.D. Jones, 1996: Detecting greenhouse-gas-induced climate change with an optimal fingerprint method, *J. Climate*, 9, 2281-2306.
- Hegerl, G.C., K. Hasselmann, U. Cubash, J.F.B. Mitchell, E. Roeckner, R. Voss, et J. Waszkewitz, 1997: Multi-fingerprint detection and attribution analysis of greenhouse gas, greenhouse gas-plus-aerosol and solar forced climate change, *Climate Dynamics*, 13, 613-634.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, et C.A. Johnson, 2001: *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001.
- Hasselmann, K., 1993: Optimal fingerprints for the detection of time-dependent climate change, *Journal of Climate*, 6, 1957-1971.
- Jacquart, C., et E. Choissel, 1995 : Un modèle hydrique simplifié à deux réservoirs utilisable en agrométéorologie. *La Météorologie* 8e série, 9, 29-44.
- Mestre, O., 2000 : Méthodes statistiques pour l'homogénéisation de longues séries climatiques, Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, septembre 2000.
- Moisselin, J.-M., M. Schneider, C. Canellas, et O. Mestre, 2002 : Les changements climatiques en France au XXe siècle, *La Météorologie* 8-38, 45-56.
- Planton, S., et B. Spagnoli, 2003 : Quand la simulation numérique reproduit et explique le réchauffement des nuits d'été. *La Météorologie* 8ième Série 42, 4-5.
- Planton, S., M. Déqué, H. Douville, et B. Spagnoli, 2004 : Impact du réchauffement climatique sur le cycle hydrologique. Soumis à *Comptes rendus Géoscience*.
- Spagnoli, B., S. Planton, M. Déqué, O. Mestre, et J.-M. Moisselin, 2002 : Detecting climate change at the regional scale : the case of France. *Geophys. Res. Let.* 29 (10) 1450.

L'INTENSITÉ DE LA DYNAMIQUE AÉROLOGIQUE ET LE CREUSEMENT DES DÉPRESSIONS PROFONDES DANS L'ESPACE AÉROLOGIQUE NORD ATLANTIQUE DE 1950 À 2000

A. Pommier et M. Leroux

LCRE CRGA, Université Jean Moulin Lyon III

e-mail : shedseven7@yahoo.fr

Résumé : Les dépressions sont l'un des marqueurs les plus représentatifs de la dynamique du temps et du climat. Il est donc utile de décrire et d'analyser leurs caractéristiques ainsi que celles des anticyclones. L'analyse complète de tous leurs paramètres permet une meilleure compréhension de l'évolution de la dynamique de l'Espace Aérologique Nord Atlantique durant la période 1950-2000, et de ce fait, peut fournir des informations pertinentes aux aménageurs du territoire, en confirmant ou infirmant l'idée selon laquelle les aléas météorologiques augmentent.

Mots clés : dépressions profondes, dynamique aérologique, Atlantique Nord.

Abstract: Lows are one of the most precise feature of the weather and climate dynamic. It is therefore useful to describe and analyse their features in association with the features of Highs. The complete analysis of all their characteristics could provide better knowledge of the evolution of the aerological dynamic of the North Atlantic region from 1950 to 2000, and could also provide applicable information, confirming or invalidating the idea according to which the meteorological hazards increase.

Key words: deep Lows, aerological dynamic, North Atlantic.

Introduction

A partir des fichiers quotidiens NCEP-NCAR version 2 (pression réduite au niveau de la mer) de du 01/01/1950 au 31/12/2000, et en utilisant une méthode développée par A. Favre (Université Lyon III) et A. Gershunov (SCRIPPS Institution of Oceanography) comprenant deux étapes automatisées:

- reconnaissance des minima (maxima) de pression chaque jour,
- connexion entre les différents minima (maxima), durant leur déplacement,

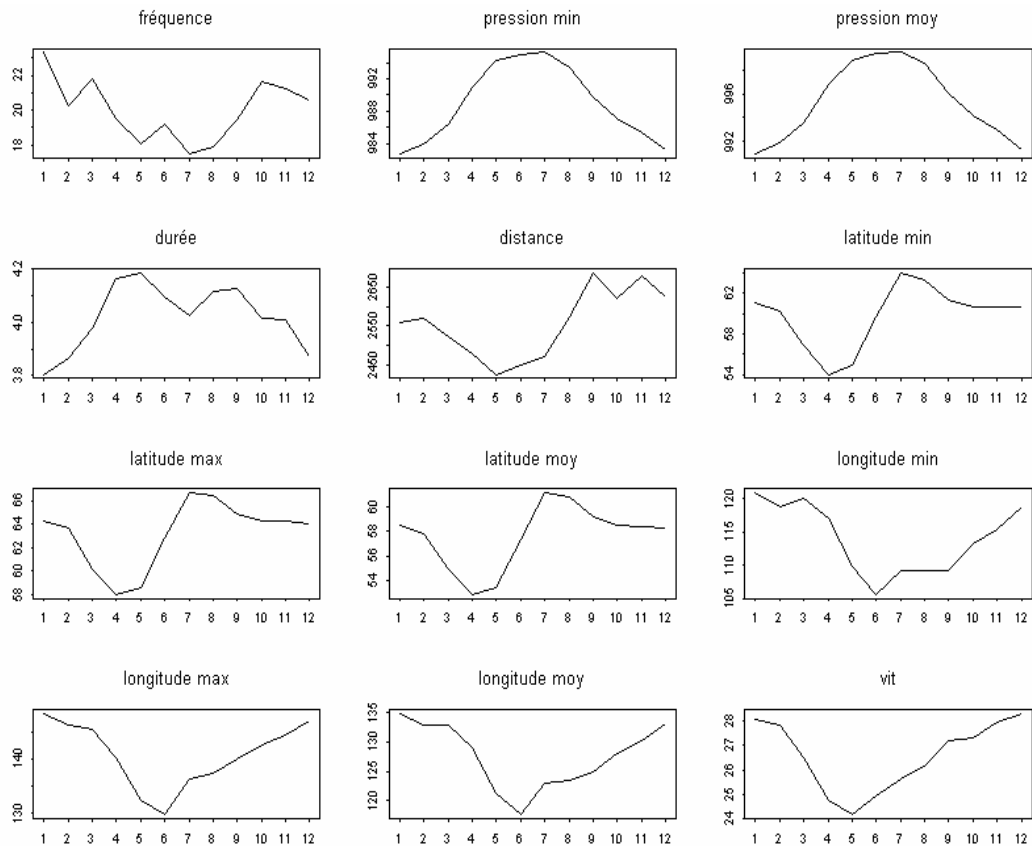
nous avons reconstruit les trajectoires des dépressions et des anticyclones.

Différents fichiers ont pu être alors constitués, récapitulant certaines caractéristiques :

- des dépressions à toutes échelles temporelles (mois, saison, année, période entière) selon différents seuils de pression (inférieures à 990, 980, 970, 960 hPa) : fréquence, latitude (max, min, moyenne), longitude (max, min, moyenne), pression (max, min, moyenne), durée, distance, vitesse de déplacement, vitesse du vent (zonal, méridien, moyen)
- des anticyclones à toutes échelles temporelles (mois, saison, année, période entière) : fréquence, latitude (max, min, moyenne), longitude (max, min, moyenne), pression (max, min, moyenne), durée, distance, vitesse de déplacement.

L'analyse statistique et cartographique de ces différents fichiers permet une meilleure connaissance et compréhension de l'évolution des dépressions dans l'EANA.

Fig. 1 : Cycles mensuels des dépressions



La relative régularité de ces cycles est très intéressante puisqu'elle permet :

- d'apporter une validation de la méthode de reconnaissance des trajectoires des dépressions par l'algorithme,
- d'apporter une connaissance fine des caractères des dépressions. Les dépressions sont plus fréquentes, plus violentes, plus rapides, vont plus à l'Est en hiver et inversement en période estivale,

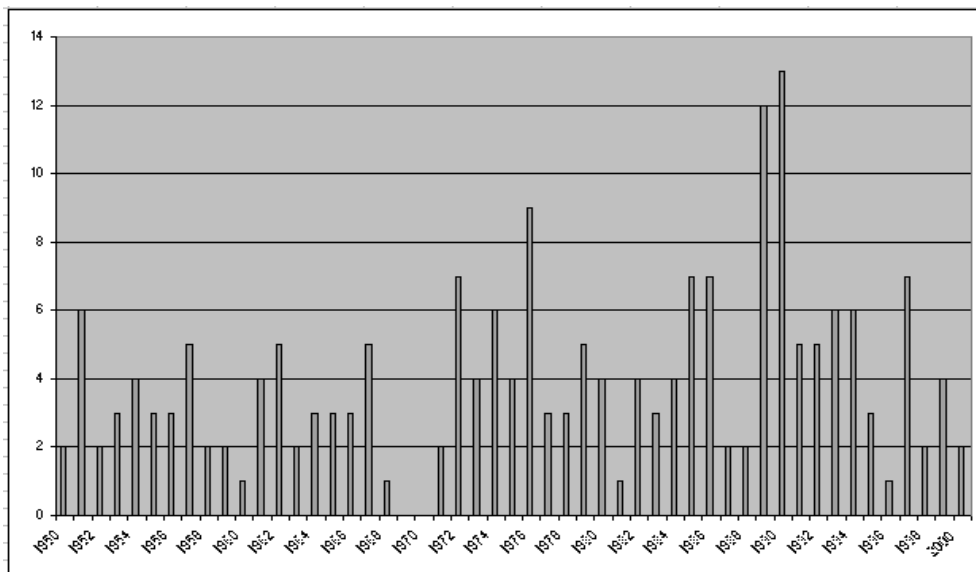
Tab. 1 : Coefficients de corrélation entre les cycles mensuels des dépressions et des Anticyclones:

	<i>F</i>	<i>PMi/PMx</i>	<i>P Moy</i>	<i>Du</i>	<i>Dist</i>	<i>Lat Min</i>	<i>Lat Mx</i>	<i>Lat</i>	<i>Lg Mi</i>	<i>Lg Max</i>	<i>Lg</i>	<i>vit</i>	<i>LaMi/LaMax</i>	<i>Lg Mi/Lg Mi</i>
A<40°/D EP	0.82	-0.84	-0.85	-0.22	0.57	0.26	-0.69	-0.24	0.32	0.79	0.69	0.58	0.2	0.68
A/ DEP	-0.19	-0.85	-0.87	-0.55	0.65	-0.7	-0.90	-0.90	-0.94	0.87	-0.94	0.64	-0.77	-0.89

Ce tableau offre des possibilités d'analyses croisées entre les Anticyclones et les Dépressions.

A titre d'exemple, nous pouvons regarder la pression minimale (PMi) des Dépressions et la pression maximale des Anticyclones (PMx). Le coefficient de corrélation est de -0.85 pour les Anticyclones $<40^\circ\text{N}$ et -0.87 si l'on prend en compte tous les Anticyclones, ce qui implique qu'un Anticyclone fort engendre une dépression creuse et inversement.

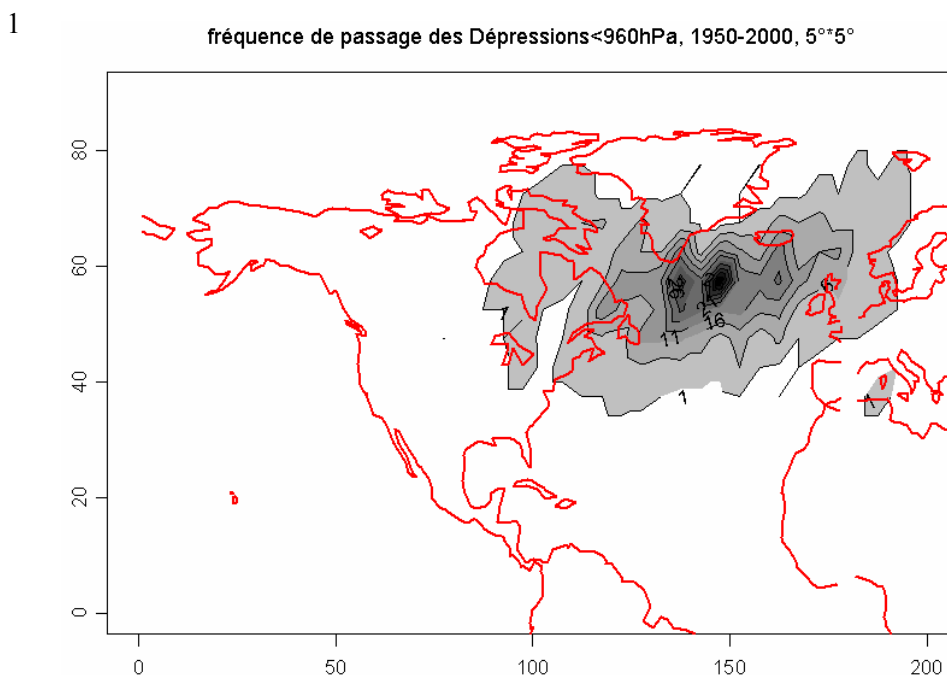
Fig. 2 : Evolution de la fréquence annuelle des dépressions inférieures à 960 hPa



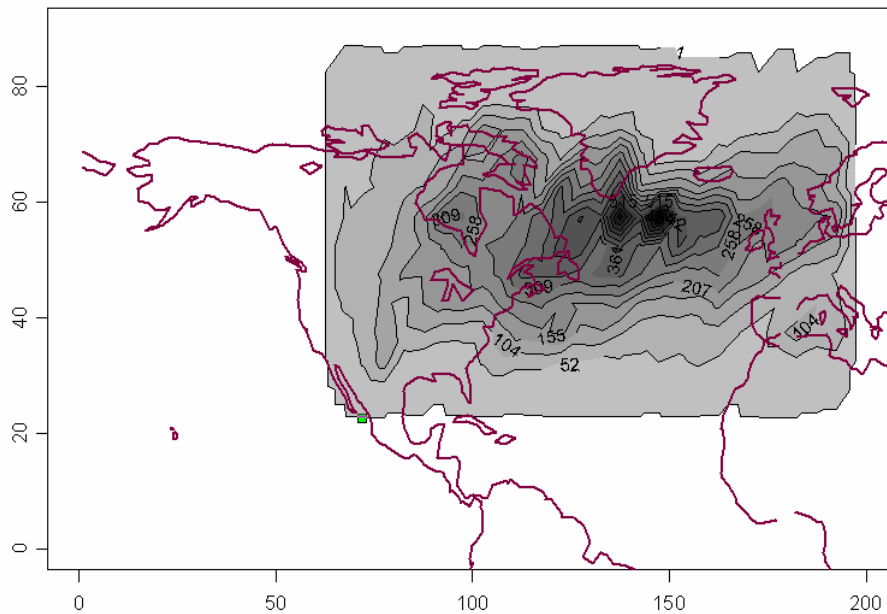
L'étude de cette figure est extrêmement parlante. En effet, trois périodes sont immédiatement individualisables :

- de 1950 à 1968, le nombre de tempêtes décroît,
- 1969-1970, absence de dépressions inférieures à 960 hPa (fait unique sur la période 1950-2000)
- de 1971 à 2000, le nombre de tempêtes croît (avec une période paroxysmique en 1989-1990),

Carte 1 : Représentation graphique de "l'espace couvert" par les dépressions selon différents seuils de pressions: inférieures à 960 (1), 1000 (2) hPa.



fréquence de passage des Dépressions <1000hPa, 1950-2000, 5°*5°



Plus les dépressions sont creuses, moins elles sont nombreuses et plus leurs parcours se font à des latitudes septentrionales.

Conclusion

L'analyse complète de tous ces paramètres dans le contexte de l'évolution de la dynamique aérologique peut fournir des informations pertinentes aux aménageurs du territoire, en confirmant ou infirmant l'idée selon laquelle les aléas météorologiques (et en particulier les tempêtes) augmentent.

Références bibliographiques

- DESER C., BLACKMON ML., 1993. Surface climate variations over the North Atlantic Ocean during winter: 1900-1989. *Journal of Climate* 13:617-633.
- HURRELL J., KUSHNIR J., VISBEK M., 2001. The north Atlantic oscillation, *Science* vol 296.
- LEROUX M., 1996 et 2000, *Dynamique du temps et du climat*.
- ROGERS JC., 1997. North Atlantic storm track variability and its association to the north Atlantic oscillation and climate variability of northern Europe, *Journal of Climate* 10:1635-1647.
- THE WASA GROUP, 1998. Changing waves and storms in the northeast Atlantic?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, n°79:741-760.

**PROBLÈMES MÉTHODOLOGIQUES ASSOCIÉS
À LA CONSTITUTION D'UNE CHRONOLOGIE GÉNÉRALE
DES COUPS DE VENT EN FRANCE**

M. Tabeaud¹ et J. Buridant²

¹ Institut de géographie, université Paris Panthéon Sorbonne, Paris
e-mail : tabeaud@univ-paris1.fr

² UFR d'histoire, université de Reims Champagne Ardennes, reims
e-mail : jerome.buridant@univ.reims.fr

Mots-clefs : France, histoire, périodes moderne et contemporaine, chronologie, coups de vent, tempête, forêts, patrimoine arboré, archives, vocabulaire.

Key-words : France, history, modern and contemporary periods, chronology, storm, windblow, forests, wood patrimony, archives, vocabulary.

Introduction

Le territoire métropolitain a été balayé entre Noël et jour de l'An 1999 par deux tempêtes Lothar et Martin. A partir de ces événements, les tempêtes ont semblé ne plus seulement être des aléas affectant les littoraux, mais aussi les villes, les forêts des régions éloignées de la mer. Les commentateurs ont insisté sur le « jamais vu » de la violence des vents et la superficie concernée et donc sur le possible lien avec le réchauffement contemporain. Pour mener une comparaison entre les tempêtes de 1999 et celles du passé, le Groupe d'Histoire des Forêts Françaises (GHFF), dirigé par Andrée Corvol, a donc décidé de collecter tous « les grands vents » depuis la fin du XIV^e siècle jusqu'à nos jours. Les forêts ont semblé de bons marqueurs des épisodes des tempêtes à l'intérieur des terres à cause des dommages occasionnés par le vent au patrimoine arboré et parce que ces derniers sont généralement consignés dans les archives. La chronologie générale, ainsi constituée, comporte plusieurs centaines d'épisodes de vents violents ayant affecté l'actuel territoire national et les pays limitrophes (Belgique, Allemagne, Suisse). Cette série de données, non exhaustive, qui peut encore être enrichie, appelle quelques remarques méthodologiques qui tiennent à la fois à l'hétérogénéité des données et à l'évolution du vocabulaire.

1. Des données hétérogènes

1.1 Des informations plus lacunaires dans la moitié sud de la France

La superficie forestière n'a jamais été aussi importante qu'aujourd'hui si bien que l'évolution observée dans chaque région ne peut s'interpréter qu'à la lueur des reboisements effectués (sur les savarts de Champagne par exemple).

La plupart des données collectées présentent un caractère régional, voire local et donc l'inégalité des informations conduit à une hétérogénéité spatiale à laquelle on essaie de remédier. En dépit des efforts pour couvrir l'ensemble du territoire, en fonction des opportunités, certaines régions (Normandie, Picardie, Ile-de-France, Champagne, Lorraine, Franche-Comté) apparaissent mieux couvertes. En second lieu, figurent le sud-ouest (Aquitaine, Pyrénées) et les Alpes du nord. Mais le Massif central, le Languedoc et la Provence figurent parmi « les parents pauvres » de cette quête d'informations.

Par ailleurs, la qualité des données diffère selon l'histoire forestière de chaque province. Les grandes forêts royales du bassin parisien apportent des informations plus précoces, précises, continues et fiables que la plupart des autres forêts du royaume. La soumission à une administration centrale entraîne une gestion assez rigoureuse inconnue des forêts ecclésiastiques et surtout des bois communaux.

1.2 L'apparition successive de nouvelles sources

Les sources les plus anciennes sont apportées par les mémoires, livres de raison et journaux intimes. Or, ces écrits ne sont pas en réalité de véritables journaux écrits au jour le jour mais des travaux retravaillés après-coup. La réalité est donc déformée par sélection d'événements marquants pour des raisons personnelles ou collectives, voire par des « ragots » colportés sur des phénomènes exceptionnels, par des erreurs de datation. Mais l'attention portée par les auteurs aux aléas du climat est forte dans un monde rural où la subsistance tient beaucoup aux bonnes récoltes.

A la fin du XVI^e siècle et au début du XVII^e siècle, apparaissent les premiers martelages de chablis, qui deviennent systématique après l'ordonnance de 1669. C'est une source continue jusqu'à l'Empire qui peut être croisée avec les dégâts aux biens ecclésiastiques dont les comptabilités mentionnent des coûts de réparation.

Avec l'indemnisation des victimes au milieu du XVIII^e siècle (remise de taille), les sources des intendances mentionnent les tempêtes hivernales mais aussi et surtout les « grands vents estivaux » qui frappent plus durement les récoltes. Les archives de préfecture assurent ensuite l'information au XIX^e siècle.

La presse d'information, qui connaît également un grand développement au XVIII^e siècle et devient surabondante au XIX^e siècle, n'a pu pour cette raison être dépouillée de façon systématique.

Enfin, au XIX^e siècle, après l'épisode de la guerre de Crimée, un réseau de mesure est organisé. Les premières observations du vent reposent sur une appréciation au jugé avec une échelle de 1 à 6, puis elles se réfèrent à l'échelle à douze échelons de Beaufort, adaptée au milieu terrestre. Ce n'est donc que sur un siècle que l'on peut disposer de données anémométriques mesurées dans les stations du réseau.

2. Les vicissitudes du vocabulaire

2.1. Le règne de la polysémie

Du XV au XVII^e siècle, les termes utilisés dans les documents sont multiples : orage, orage de vent, grand vent, vent impétueux, vent merveilleux et tourmente de vent.

Orage issu du latin aura désigne d'abord un vent favorable, puis défavorable après 1140. Comme il peut désigner le vent, la tempête et le temps qu'il fait, le plus souvent, on précise sa nature (orage de vent par exemple).

Le mot vent du latin ventum apparaît au XI^e siècle avec le sens que nous lui donnons aujourd'hui (air en mouvement). Mais pour définir son intensité ou son caractère exceptionnel, il est d'usage de lui accoler un adjectif : grand, impétueux, merveilleux.

Orvale ou ovaile est un mot employé dans le nord-est de la France et qui dérive sans doute du mot allemand unfall, désastre. Aussi peu précis que le mot orage, orvale suppose un complément, si bien qu'on parle d'orvale de vent.

Quant au terme de tempête, issu du latin populaire tempesta, il désigne une calamité, un désastre ; les vents sont parfois qualifiés de tempestatifs.

2.2. La révolution des sciences

Au cours du Siècle des Lumières, le développement des sciences physiques, des sciences de la terre, des sciences de la vie conduit à une révision des termes, qui deviennent plus précis. De nombreux traités de l'Académie des sciences et les dictionnaires de l'Académie tentent d'associer à chaque terme un concept précis, qui s'il est utilisé par les « savants » ne pénètre que lentement dans le parler populaire.

Le vocabulaire s'enrichit de termes empruntés à d'autres langues. Ainsi le mot ouragan, dérivé de l'espagnol des Antilles firacan, par étapes intermédiaires successives sous la forme de huracan, houraquan, houragan. Son sens précis de mouvement de tourbillon violent autour d'un centre calme, n'empêche pas son usage pour désigner les fortes tempêtes hivernales. Pour Louis Cotte, le terme est synonyme de tempête.

Ce même père restreint par contre l'usage du mot orage, tel que nous le connaissons aujourd'hui suivant en cela l'Académie qui considère que les vents d'orages « n'entrent plus dans l'histoire des vents car ils sont de courte durée ».

Trombe fait également son apparition par déformation de l'italien tromba pour désigner des tourbillons ou nuages creux observés à terre et sur les plans d'eau.

2.3. Vers la normalisation

Au XIX^e siècle, le vocabulaire tend de plus en plus à opposer les tempêtes hivernales généralement désignées par les termes de coup de vent, tempête, ouragan ou bourrasque.

Quant aux vents forts de saison chaude deux nouveaux termes vont permettre de les désigner. Celui de tornade ou tournade, pour caractériser des espèces d'ouragans aux vents de direction venant de tous points de l'horizon. Et celui de cyclone. Du grec kuklos (cercle) le mot apparaît en France en 1860 pour désigner une tempête tournante (Emile Littré) ou toute perturbation atmosphérique au vent circulaire.

Les exigences croissantes des météorologues en terme d'observation et de mesure tout comme l'internationalisation et la standardisation des relevés va conduire à la normalisation du vocabulaire. Pendant la guerre de 1914-18 l'aéronautique militaire demande de nouveaux services à la météorologie quant à l'observation des phénomènes atmosphériques. Après la guerre, avec l'aéronautique marchande, le besoin de formation de personnel qualifié se fait de plus en plus sentir.

Aussi une commission de l'office national météorologique, sous la responsabilité de M. Baldit, « météorologiste éprouvé » se voit confier la mission de mettre au clair la terminologie employée. Comme de nombreux rédacteurs ont participé à la rédaction des définitions, M. Baldit a homogénéisé les textes de chacun. Le premier lexique de météorologie en français paraît donc en 1926, sous la direction du général Delcambre, chez l'éditeur Etienne Chiron à Paris. Il comprend 451 pages auxquelles plusieurs éditions successives vont ajouter des annexes (135 pages). Si les mots bourrasque, tempête et violente tempête ne figurent pas, le lexique donne la définition de la ligne de tempête, du cône de tempête et de l'avertissement de tempête. Surtout une importante clarification est apportée au terme cyclone dans un long article de huit pages expliquant les nouvelles théories des fronts de l'Ecole de Bergen. Alors que le cyclone tropical est défini dans la zone entre 10 et 20 nord ou sud, les autres phénomènes tourbillonnaires sont rassemblés sous le vocable de tourbillons de vent (trombe marine, tornade et ouragan).

La terminologie sera définitivement clarifiée à partir de 1966 dans la nomenclature de l'Office météorologique mondial intitulé International meteorological vocabulary qui sera traduit en vingt langues différentes. On y trouve : bourrasque, cyclone, cyclone tropical, grain, orage, tornade, trombe, tourbillon de vent, tourmente de neige, ouragan, vent et pour la première fois tempête et violente tempête. Le terme de tempête se réfère à des vents dont la vitesse est comprise entre 44 et 50 nœuds (force 10 Beaufort) et celui de violente tempête à des vitesses comprises entre 51 et 57 nœuds (12 Beaufort).

Conclusion

Malgré tous les problèmes évoqués précédemment, sur les six siècles observés, trois cents trente deux épisodes distincts de vents violents ont pu être identifiés et la banque de données ne cesse de s'enrichir. La récurrence d'un événement sur le territoire est donc inférieure à deux ans. Bien évidemment un patient travail sur les dates et les lieux permettra de distinguer des aléas de nature et d'échelle différentes, en particulier les tempêtes hivernales et les orages, trombes ou tornades de saison chaude. De fortes inégalités de fréquence des coups de vent caractérisent par ailleurs les différentes périodes. Se distinguent : 1580-1640, 1710-1770, 1870-1920 et 1970-2003 sur lesquelles des recherches sont en cours. Enfin, plusieurs tempêtes semblent avoir dévasté l'essentiel du territoire dans le passé : les 5 décembre 1584, 10 décembre 1872 et les 12-13 mars 1876. Lothar et Martin ne seraient donc pas uniques en leur genre !

VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DES MILIEUX AGRAIRES SUR LES HAUTES TERRES DE L'OUEST DU CAMEROUN

M. Tsalefac

Laboratoire de Climatologie et d'études environnementales
Département de géographie, Université de Yaoundé I, Cameroun
e-mail: mtsalefac@hotmail.com

Mots-clés: variabilité climatique, anomalie climatique, dynamique des paysages, Cameroun, Afrique

Abstract: The western highlands of Cameroon, located between latitudes 4° 5N- 7°N and longitudes 9°25E-11°40E cover surface area of 7500 km². Its constitute an original geomorphic entity between western and central Africa which have flat surfaces. Its climatic characteristics contributes to the originality of the region. Through the study of its variability, it's shown that climate plays an important role in the formation of the present and the past landscapes.

Key-words: climatic variability, climatic anomaly, landscape dynamic, Cameroon, Africa

Introduction

En Afrique tropicale, l'étude de la variabilité climatique et ses conséquences a surtout été jusqu'ici étudiée en zone soudano-sahélienne où la modicité des précipitations crée une situation critique pour les hommes et l'environnement en général. On peut dès lors se demander quel impact cette variabilité peut avoir en milieu montagnard humide tropical où les effets de l'altitude sont comparables à celles de la latitude sur la pluviosité ? Dans la présente étude, centrée sur les Hautes terres de l'Ouest du Cameroun (plus de 1000 m d'altitude) localisées entre les latitudes 4°5N -7°N et entre les longitudes 9°25E – 11° 40E sur pratiquement 7500 km², nous voulons étudier l'impact de la variabilité climatique dans la mise en place des paysages passés et actuels en partant de l'hypothèse que les conséquences de l'instabilité du climat sur l'environnement peuvent être d'autant plus singulières que « l'insularité » même de ces milieux par rapport aux plateaux voisins. De plus elles doivent y être mises en rapport avec l'environnement économique des crises climatiques si l'on veut analyser les paysages ruraux. Ces hypothèses sont fondées sur le fait que la variabilité climatique et la crise économique récente ont déterminé sur ces Hautes Terres une véritable décomposition/recomposition sociale et des paysages qui laisse peu de place à la protection des ressources naturelles. Les bases de l'étude sont constituées par des documents d'archives, des enquêtes de terrain et des données climatologiques.

1. Contexte, cadres conceptuel et théorique

1.1 Contexte

Entre 4°5 N -7°N de latitude et 8°E-11°E (fig 1) se dresse la citadelle des Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun(plus de 1000 m d'altitude), ensemble majestueux qui se démarque nettement des bas-plateaux côtiers et du plateau sud-camerounais. Une dissymétrie oppose les versants méridionaux et occidentaux des grands édifices volcaniques frappés de plein fouet par le flux de mousson atlantique, plus humides (2500-4000 mm/an), aux versants septentrionaux et orientaux sous l'emprise de l'harmattan, plus secs (1400-1800 mm/an). De plus, les versants occidentaux et méridionaux des grands édifices volcaniques sont essentiellement forestiers tandis que sur les versants orientaux et septentrionaux, des formations plus ouvertes sont aujourd'hui fortement modifiées par l'homme. La végétation forestière y est réduite à quelques îlots conservés sur des escarpements et dans les vallées.

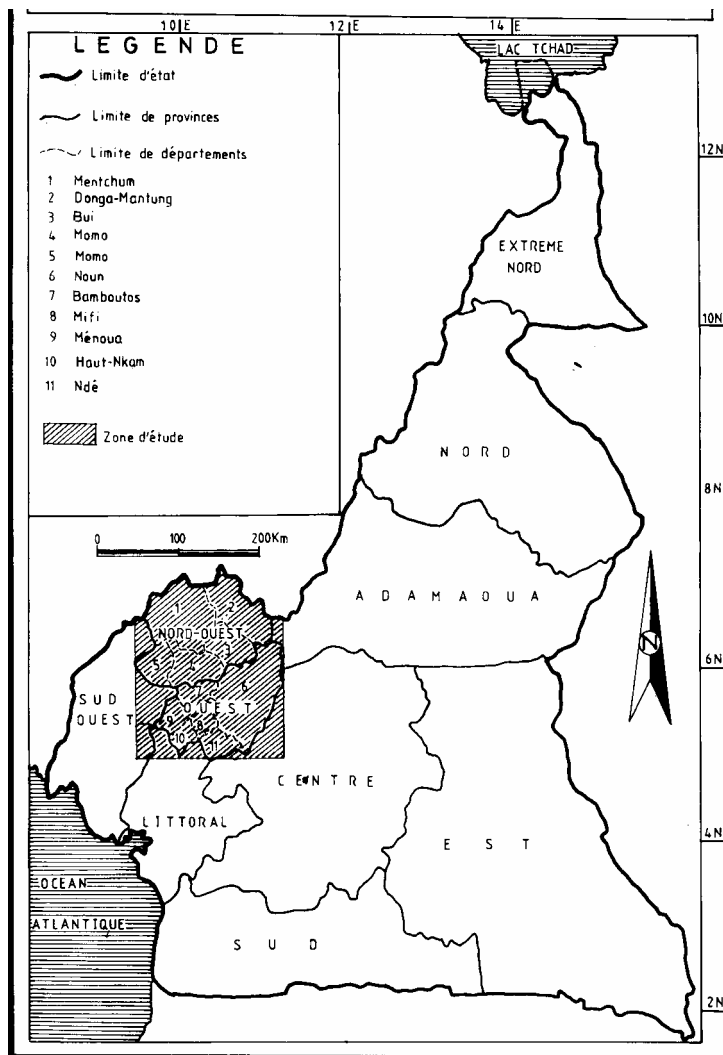


Fig. 1 : Carte de localisation

1.2 Cadre conceptuel et théorique : anomalies, crises, variabilité climatique

Les sécheresses ou les années trop humides sont des crises climatiques. Les périodes froides ou les années trop chaudes sont aussi des crises climatiques (Yves Tardy et al 1992). A cette notion de crise, d'autres auteurs ont préféré celle d'anomalie. Pour eux, le dérèglement dans le rythme saisonnier pendant une ou plusieurs années constitue une anomalie du climat que les courbes d'évolution font nettement apparaître à partir d'une base statistique. On voit que cette notion d'anomalie pose le problème des accidents climatiques aux différentes échelles de temps et qu'elle se définit par référence à une situation jugée normale de sorte que son intensité peut se juger en termes d'écart par rapport à cette dernière. La notion d'écart-type permet de fixer les seuils caractéristiques bornant les intervalles ayant une signification

statistique. La notion de crise climatique renvoie à des anomalies durables de l'ordre de quelques siècles à un millénaire. Aux notions d'anomalies météorologiques ou climatiques, Pagney (1990) ajoute celle de variabilité climatique.

L'expression variabilité climatique a été clairement définie par Pagney (1990). Elle fait pressentir la mobilité du schéma climatique moyen. En effet, la variabilité envisagée s'organise autour des valeurs centrales ou autour d'images centrales. On pourrait également envisager la variabilité comme des tendances qui se manifestent et qui, éloignant les états climatiques successifs de l'état initial, tendent moins vers l'oscillation que vers la modification, aussi insensibles ou ténues soient-elles. La variabilité climatique peut ainsi être envisagée de façon objective à partir de données chiffrées homogènes comme elle peut être appréhendée de façon subjective, c'est-à-dire en fonction des chocs que provoquent les excès et du souvenir qu'on en garde, soit dans la mémoire collective, soit dans les mémoires individuelles.

2. Méthodologie

Les documents de base de cette étude proviennent d'une part de la Direction de Météorologie Nationale du Cameroun pour les données climatologiques et d'autre part des Archives nationales et départementales complétés par des enquêtes auprès des populations sur la perception du climat et par des données météorologiques. Les périodes d'anomalies sont déterminées selon les méthodes de la statistique descriptive et confrontées aux données d'archives et de perception du climat.

3. Résultats

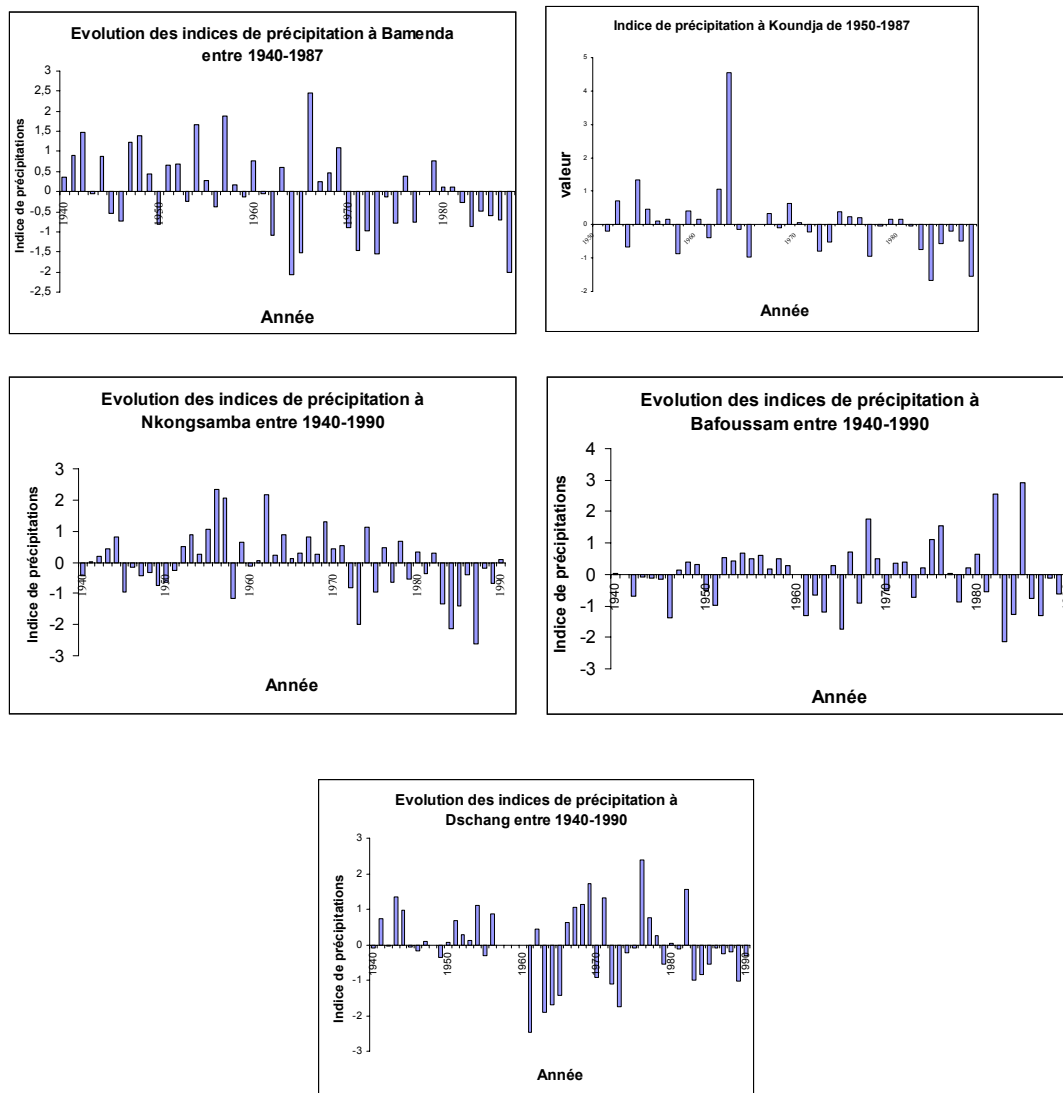
3.1 Le climat perçu

Sur les hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, l'instabilité du climat a marqué depuis longtemps les populations. Les perceptions paysannes indiquent sur l'ensemble de l'aire d'étude, une grande unité culturelle dans la mesure où les grands rituels sont liés aux cycles naturels.

3.2 La variabilité interannuelle

L'évolution de la pluviométrie sur l'ensemble de la région (fig. 2) indique une baisse relative depuis les années 1970. Les grandes périodes sèches des années 1940, 1970, et 1980 se remarquent nettement comme d'ailleurs la grande période humide des années 1950. La variabilité climatique et notamment pluviométrique marque profondément l'agriculture et l'élevage qui, par rapport à elle, sont fondamentalement des activités à risques.

Fig. 2 : Evolution des indices de précipitations sur les Hautes Terres de l'Ouest



3.3 Impact de la variabilité sur la dynamique des paysages

Les sécheresses récentes qui ont affecté la zone sahélienne n'ont pas épargné le territoire camerounais. Sur les Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, elles ont eu pour conséquence une modification plus ou moins profonde des milieux agraires et du comportement des paysanneries (intensification des cultures maraîchères en altitude et dans les bas-fonds, diversification des cultures, sédentarisation des pasteurs nomades, multiplication des conflits agriculteurs-éleveurs, colonisation des terres marginales, migrations). Ces derniers doivent être mis en rapport avec l'environnement économique et socio-politique des disettes et des famines et avec les niveaux d'organisation politique et économique des zones affectées. Il conduit en général à l'affrontement des intérêts des urbains et des ruraux, notamment, par le biais des transactions foncières.

3.3.1 Des paysages en fréquente recomposition

L'histoire des crises climatiques passées montre que ces paysages résultent de fréquentes décomposition/recomposition liées aux crises de subsistances (famine, disette, grandes endémies) qui ont modelé l'esprit des hommes et guidé l'exploitation des milieux. .

3.3.2 Création des structures d'intervention dans le monde rural, diversification et introduction de nouvelles cultures

Face aux crises, le gouvernement a régulièrement entrepris un certain nombre d'activités de circonstance (création de plusieurs postes climatologiques, ainsi que de multiples structures d'intervention en milieu rural) qui n'ont pas été poursuivies.

Conclusion

Les paysages actuels des Hautes Terres résultent bien de l'action combinée des hommes et des violences naturelles d'origine climatique. Ces dernières ont très souvent joué le rôle de déclencheurs de famine et de multiplication de stratégies d'adaptation de la part des populations. Violences naturelles d'origine climatique, stratégies de survie dans un esprit de compétition, voilà les principaux moteurs des changements dans l'utilisation et la couverture des sols sur les Grassfields. De la sorte les paysages se sont structurés de telle sorte que l'accent a toujours été mis sur les éléments visibles de cette réussite : grandes plantations, grandes concessions, grand nombre de femmes et d'enfants etc. Les crises actuelles qui s'expriment dans un contexte de manque de terre marque une nouvelle décomposition/recomposition de ces structures sociales et des paysages, celle qui doit en principe conduire à l'agriculture de marché

Références bibliographiques

- DELARAZIERE, R., 1949. Les institutions politiques et sociales des populations dites bamileké, in Etudes camerounaises, Institut français d'Afrique Noire, Cameroun.
- DONGMO J.L., 1981. Le dynamisme bamileke, Ed. CEPER, Yaoundé.
- PAGNEY P. 1988. La dynamique du climat et de l'hydrologie fluviale, Masson, Paris.
- Raison, J.P. 1988. Perception et utilisation des milieux par les agriculteurs de deux régions tropicales d'altitude fortement peuplées, Hautes terres Malgache, Rwanda, CEGET, Bordeaux
- TSALEFAC M., 1999. Variabilité climatique, crise économique et dynamique des paysages sur les hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, Thèse d'Etat, Université de Yaoundé I.
- WARNIER J.P., 1983. Sociologie du Bamenda précolonial, Thèse, Univ. Paris X.

CHANGEMENT DE CLIMAT : MODIFICATION DANS LE RÉGIME DES PRÉCIPITATIONS EN BELGIQUE ?

M. Vandiepenbeeck

Institut Royal Météorologique de Belgique

e-mail : marc.vandiepenbeeck@oma.be

Résumé : Depuis quelques temps, on entend souvent dire qu'il pleut davantage en Belgique que par le passé et que cette « augmentation » serait à l'origine d'une augmentation des inondations dans le pays. Cette impression est-elle réelle ou non ? Le but de cet article est d'examiner statistiquement les données de précipitations disponibles aux échelles saisonnière et annuelle afin d'essayer de répondre à cette question.

Mots clés : Changement de climat, statistiques, précipitations

Abstract: For some time, one says in Belgium that it rains more and this "increase" would be the reason of an increase in the floods in the country. The question which arises consequently is : "Is this impression real or not ? ". The goal of this paper is to examine statistically the precipitation data at the seasonal and annual scales in order to answer this question.

Keywords : Climate change, statistics, rain

Introduction

Vandiepenbeeck (1996) a mis statistiquement en évidence des changements de régime à Uccle pour différents paramètres climatiques. Cette étude confirmait notamment l'augmentation dans les totaux annuels et saisonniers des précipitations qui avait déjà été mise en évidence par Sneyers et al. (1989). Cette évolution n'avait pas pu encore être détectée lors de l'établissement des normales pluviométriques en 1978 (Dupriez et Sneyers, 1978). La raison en est que les précipitations présentent des variations importantes autour des normales et que les séries de données doivent être dès lors suffisamment longues pour permettre la détection d'un changement statistique significatif.

À Uccle, les années 2001 et 2002 ont battu des records de précipitations. 2001 a été l'année la plus pluvieuse de la série des totaux annuels de Bruxelles-Uccle (série débutant en 1833) et l'année 2002 est ensuite venue se placer en seconde position. Jusqu'alors, les records annuels de pluviosité étaient détenus par le couple 1965-1966. Nous renvoyons le lecteur à l'adresse internet ci-dessous pour un complément d'information à ce sujet :

http://www.meteo.be/francais/pages/Klimatologisch/rr_2001_fr.htm

Si les valeurs du cumul des précipitations furent remarquables en 2001-2002, les fréquences du nombre de jours de précipitations ont été par contre relativement normales pour ces deux années. On peut se demander si cette absence de corrélation se confirme sur de plus longues périodes de temps et quelle est son importance dans le comportement à long terme de l'intensité moyenne par jour de précipitations.

Les objectifs de cet article sont, d'une part, d'examiner si les données des années récentes ont modifié les résultats obtenus précédemment pour les quantités de précipitations et, d'autre part, d'étendre l'analyse statistique à d'autres paramètres caractérisant les précipitations, à savoir le nombre de jours avec précipitations et l'intensité journalière moyenne.

1. Méthodologie et résultats

Nous renvoyons le lecteur à notre article précédent (Vandiepenbeeck, 1996) pour une présentation des tests statistiques qui ont été appliqués ici aux séries annuelles et saisonnières des quantités de précipitations, du nombre de jours avec précipitations mesurables (c'est-à-dire avec une quantité journalière au moins égale à 0,5 mm) et de l'intensité moyenne des précipitations par jour de précipitations.

Les résultats obtenus en 1996 restent inchangés pour les quantités d'eau recueillies (voir tableau 1), à savoir une augmentation significative au niveau 0,05 qui se produit vers 1910 pour les séries annuelle et hivernale et vers 1965 pour la série printanière. En incluant les données postérieures à 1995, on observe une tendance renforcée à l'augmentation des précipitations pour les séries hivernale et annuelle, contrairement à la série printanière qui voit diminuer la différence entre les deux moyennes sur les deux périodes de part et d'autre de l'année de rupture. Les données estivales et automnales ne montrent pas de tendance significative (même au niveau 0,1).

Tab. 1 : Quantité de précipitations (1833-2002) (en mm)

Hiver			Printemps			Année		
P	M	D	P	M	D	P	M	D
1834-1909	172.6		1833-1964	166.7		1833-1908	759.7	
1910-2002	204.3	31.7	1965-2002	197.4	30.7	1909-2002	817.2	57.5

P = périodes pendant lesquelles les moyennes sont stables, M = valeur des moyennes, D = différence entre les moyennes de deux périodes successives.

Les résultats concernant les séries des nombres de jours à précipitations mesurables entre 1901 et 2002 sont présentés dans le tableau 2. Contrairement aux quantités de précipitations, aucune tendance saisonnière n'est significative au niveau 0,05. On observe cependant deux sauts durant la décennie soixante qui sont significatifs au niveau 0,1. Le premier concerne la série printanière qui présente une hausse de 3,6 jours pour la moyenne et le second, la série estivale qui présente une diminution de 7,4 jours.

Tab. 2 : Nombre de jours à précipitations mesurables (1901-2002) (en jours)

Printemps			Été		
P	M	D	P	M	D
(1901-1961)	38,0		(1901-1969)	38,7	
(1962-2002)	41,6	3,6	(1970-2002)	34,2	-7,4

P = périodes pendant lesquelles les moyennes sont stables, M = valeur des moyennes, D = différence entre les moyennes de deux périodes successives. Les périodes sont mises entre parenthèses pour indiquer que les changements ne sont significatifs qu'à 10 %.

Le tableau 3 résume les résultats obtenus pour la quantité d'eau moyenne précipitée par jour de précipitations mesurables. Pour les valeurs annuelles, un premier changement significatif au niveau 0,05 se produit en 1935, caractérisé par une diminution moyenne de 0,29 mm/jour sur la période 1935-2002. Sur cette dernière période, l'intensité moyenne présente un saut très significatif vers le haut en 1960 (+0,46 mm/jour). Enfin, dans l'intervalle 1960-2002, l'augmentation de l'intensité semble encore s'accroître après 1985, année où l'on observe un nouveau saut vers le haut (mais significatif seulement au niveau 0,1) : l'intensité journalière moyenne passe de 5,09 mm (pour la période 1960-1984) à 5,55 mm (pour la période 1985-2002), soit un accroissement moyen de 0,46 mm/jour.

Si les saisons intermédiaires ne montrent aucun changement significatif (même au niveau 0,1), il n'en est pas de même des saisons extrêmes. L'hiver présente un changement en 1979 : la moyenne passe de 4,24 mm/jour entre 1901 et 1978 à 5,11 mm/jour entre 1979 et 2002. En été, c'est en 1958 que le changement est détecté, avec une augmentation moyenne de 0,85 mm/jour d'une période à l'autre.

Tab. 3 : Quantité d'eau précipitée par jour de précipitations mesurables (1901-2002) (en mm/jour)

Hiver			Été			Année		
P	M	D	P	M	D	P	M	D
1901-1978	4,24		1901-1957	5,48		1901-1934	4,96	
1979-2002	5,11	0,87	1958-2002	6,33	0,85	1935-1959	4,67	-0,29
						1960-2002	5,29	0,46

P = périodes pendant lesquelles les moyennes sont stables, M = valeur des moyennes, D = différence entre les moyennes de deux périodes successives

Résumons maintenant les principaux résultats obtenus pour l'évolution des précipitations au cours du XX^e siècle à Uccle. Par défaut, le niveau de signification statistique d'un résultat est de 0,05 ; dans les autres cas, la valeur du niveau est indiquée entre parenthèses.

En hiver et à l'échelle annuelle, on constate une légère augmentation des précipitations, sans changement de fréquence des jours à précipitations mesurables ; cela induit une augmentation de la quantité d'eau par jour de pluie. En été, si on n'observe pas de variation de la quantité d'eau recueillie (au niveau 0,1), on note une baisse de la fréquence des pluies (au niveau 0,1) ; cela induit une augmentation de l'intensité journalière des précipitations.

Au printemps, on observe une augmentation significative des pluies et, dans une moindre mesure, une augmentation de la fréquence des jours à précipitations mesurables (au niveau 0,1). Il en résulte que l'intensité journalière n'accuse pas de tendance en cette saison (même au niveau 0,1). Enfin, l'automne ne montre aucune modification des paramètres de précipitations examinés dans la présente étude (au niveau 0,1).

En complément des résultats présentés ici, signalons le travail réalisé récemment à l'IRM sur les précipitations extrêmes (Gellens, 2002). L'analyse des données journalières des stations du réseau climatologique belge depuis le début des années 50 montre en hiver une légère augmentation des précipitations extrêmes sur n-jours (n variant de 1 à 30 jours) et une très faible diminution des précipitations extrêmes estivales. Les résultats pour l'hiver sont cohérents avec les résultats obtenus à l'échelle de la saison entière, ce qui n'est pas le cas pour l'été. Ces deux saisons sont caractérisées par des précipitations extrêmes de type différent (pluies frontales en hiver et averses orageuses en été). Cela pourrait expliquer les résultats apparemment contradictoires obtenus pour l'été.

2. Causes possibles

L'évolution du climat de la Belgique sur le dernier siècle est caractérisé principalement par une augmentation très nette des températures (Vandiepenbeeck, 1996). L'analyse statistique de la série de la température moyenne annuelle à Uccle indique que ce réchauffement s'est effectué en deux étapes : un premier saut s'est produit en 1909 et un second a eu lieu en 1987. Notons que le scénario de ce réchauffement s'accorde assez bien avec le réchauffement observé au cours du XX^e siècle à l'échelle globale. Cette évolution thermométrique peut avoir entraîné une augmentation de l'évaporation à la surface des océans et un apport supplémentaire d'humidité dans la troposphère qui se réchauffe. Dans ces conditions, le potentiel d'eau précipitable s'accroît dans les couches de l'atmosphère où se forment les nuages. Cette explication schématique pourrait rendre compte des grandes tendances observées à Uccle au cours des cent dernières années en ce qui concerne autant les quantités de précipitations saisonnières et annuelles que les intensités moyennes par jour de précipitations.

D'autre part, la manière dont s'organisent les différentes masses atmosphériques ne semble pas affectée, au moins jusqu'à présent, par le réchauffement global : à Uccle, il n'y a pas eu de changement majeur dans les fréquences du vent (Vandiepenbeeck, 1998). Une étude hollandaise confirme cette conclusion pour les Pays-Bas. On peut donc s'attendre à ce que le nombre de jours de précipitations n'ait pas évolué de manière significative (du moins au niveau 0,05), ce qui semble confirmé par les résultats présentés ici. Signalons cependant que pour certaines régions plus éloignées (en particulier la Norvège), d'autres travaux indiquent une augmentation des vents d'ouest au détriment d'autres directions (Van Oldenborgh and Van Ulden, 2003).

Conclusion

Au cours du XX^e siècle, les quantités cumulées de précipitations observées à Uccle montrent principalement une augmentation en hiver, au printemps et à l'échelle annuelle. D'autre part, alors que le nombre de jours de précipitations n'a pas évolué significativement au cours des différentes saisons et sur l'année, l'intensité moyenne des précipitations a augmenté en hiver, en été et à l'échelle annuelle. Il est tentant d'expliquer la bonne corrélation généralement observée entre l'évolution des quantités de précipitations et celle des intensités journalières moyennes par le réchauffement observé près de la surface. D'autre part, aux échelles saisonnières et annuelle, la relative stabilité des fréquences de vent pourrait expliquer celle du nombre de jours à précipitations mesurables.

Références bibliographiques

- DUPRIEZ G.L. et SNEYERS R., 1978 : Les normales du réseau pluviométrique belge, Institut royal météorologique de Belgique, Publication série A, n° 101.
- GELLENS D., 2002 : Combining regional approach and data extension procedure for assessing GEV distribution of extreme precipitation in Belgium, *J. of Hydrology*, 268, 113-126.
- SNEYERS R., VANDIEPENBEECK M. et VANLIERDE R., 1989 : Principal Component Analysis of Belgian Rainfall, *Theor. Appl. Climatol.*, 39, 199-202.
- 1996 : Détection pratique de changement de climat dans le cas d'une alternative au caractère aléatoire, Publication de l'Association Internationale de Climatologie, 1995, vol 8.
- VANDIEPENBEECK M., 1996 : Fluctuations récentes dans les séries climatologiques de Bruxelles – Uccle (Belgique), Publication de l'Association Internationale de Climatologie, 1997, vol 9.
- VANDIEPENBEECK M., 1998 : On A Recent Urban Effect In The Time Series Of The Temperature In Different Stations In Belgium, 2nd European Conference on Applied Climatology, 1998, (sur Cd-ROM édité par le Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Vienna, Austria).
- VAN OLDENBORGH G. and VAN ULDEN A., 2003 : On the relationship between global warming, local warming in the Netherlands and changes in circulation in the 20th century, *Int J. Climatol.*, 23, 1711-1724.

L'HISTOIRE DE NOTRE CLIMAT AU CŒUR DE LA GLACE

F. Vimeux

UR Great Ice - Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
& Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CE Saclay
e-mail : vimeux@lsce.saclay.cea.fr

Résumé : Cet article explique comment l'exploitation des carottes de glace dans les régions polaires (Antarctique et Groenland) et tropicales nous permet de reconstruire les variations passées de notre climat. Principalement, il est possible de reconstituer les variations de la température atmosphérique, de la composition chimique de notre atmosphère et de la concentration des gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone ou le méthane et cela jusqu'à il y a environ 800 000 ans. Plusieurs résultats issus de différents carottages en Antarctique et au Groenland seront discutés ici. La connaissance des variations naturelles de notre climat s'est révélée essentielle pour la compréhension de notre climat actuel et son évolution.

Mots clés : Antarctique, Groenland, carottes de glace, isotopes stables de l'eau, gaz à effet de serre, cycle glaciaire-interglaciaire

Keywords: Antarctic, Greenland, ice cores, water stable isotopes, greenhouse gases, glacial-interglacial cycle

Introduction

Les calottes de glace polaires, au Groenland et en Antarctique, constituent des archives uniques de notre environnement passé. Les neiges préservées et accumulées, parfois depuis des centaines de milliers d'années, conservent la mémoire des conditions climatiques de leur époque. Depuis 1960, plusieurs projets internationaux de forages ont été réalisés. Ces missions de terrain requièrent des opérations logistiques et techniques délicates, mobilisant des équipes de plusieurs dizaines de personnes sur le terrain. Ces opérations lourdes et coûteuses expliquent leur caractère international et rare (fig. 1).

Fig. 1 : Site du forage d'EPICA Dome C en Antarctique de l'Est et carotte de glace à la sortie du carottier

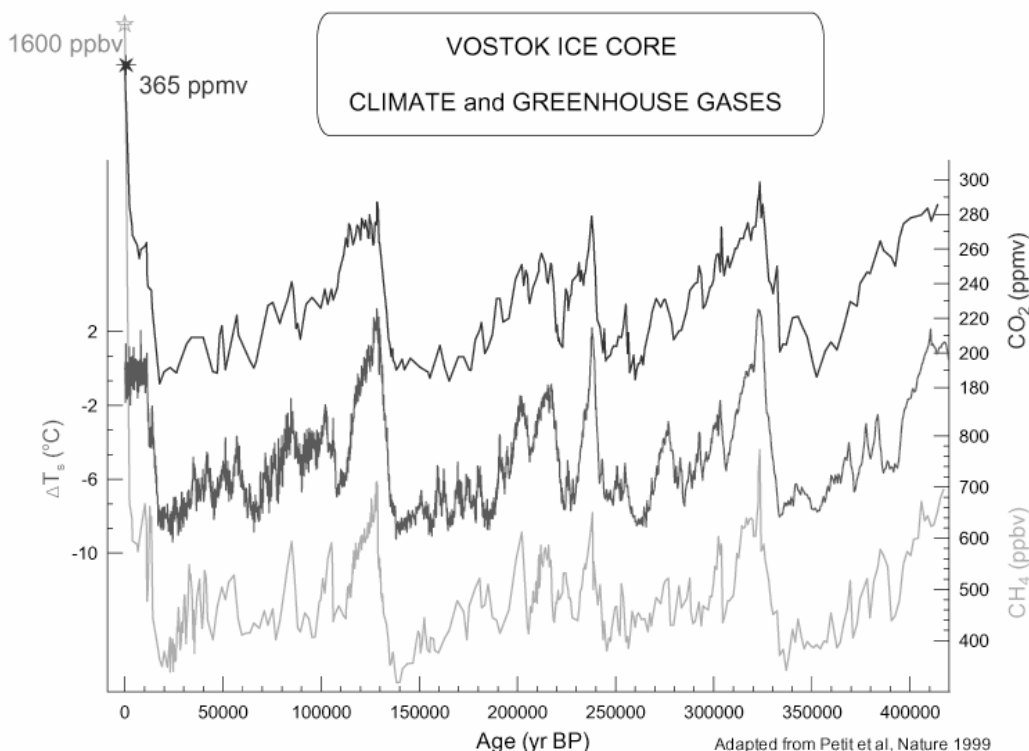


Les périodes de temps couvertes par les enregistrements ne sont pas les mêmes en fonction de l'accumulation neigeuse annuelle sur le site de carottage. Au centre de l'Antarctique, où les conditions météorologiques sont particulièrement sèches (quelques mm d'eau par an) et où la glace est la plus épaisse (près de 4 km), certains enregistrements remontent jusqu'à il y a environ 800 000 ans. Ils couvrent 8 cycles glaciaire-interglaciaire (dernier forage européen EPICA) alors qu'au Groenland où le taux de précipitation est plus important (environ 30 à 50 cm par an au centre) et la calotte moins épaisse (environ 3 km), le forage le plus vieux remonte jusqu'à 130 000 ans pour atteindre la précédente période interglaciaire avant celle que nous vivons actuellement (forage récent de NorthGRIP). En effet, les reconstitutions de notre climat passé ont montré que depuis près d'1 million d'années des périodes chaudes et courtes (périodes dites interglaciaires, de l'ordre de 5 à 10 000 ans) et froides et longues (périodes dites glaciaires de l'ordre de 80 000 ans) se succèdent avec une fréquence de l'ordre de 100 000 ans. Les carottes de glace issues des glaciers tropicaux ne couvrent que des périodes bien plus courtes (moins que 20 000 ans) mais possèdent une résolution temporelle de l'ordre de la saison, au moins sur le dernier siècle, ce qui permet d'étudier des variations de notre climat à une échelle tout à fait différente.

Plusieurs types de mesures sont réalisés dans la glace :

- tout d'abord, il est possible de reconstruire les variations passées de la concentration des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et méthane) en mesurant directement les concentrations de ces gaz dans les bulles d'air emprisonnées dans la glace qui conservent la composition de l'atmosphère lorsqu'elles se sont formées.

*Fig. 2 : Variations de température et de gaz à effet de serre (méthane, CH₄ et dioxyde de carbone, CO₂) sur les 420 000 dernières années à partir des mesures isotopiques effectuées sur la glace (pour la température) et d'analyses d'air piégé dans la glace (CH₄, CO₂).
Les teneurs actuelles de CH₄ et CO₂ sont indiquées pour comparaison*



- des reconstructions de température sont aussi réalisées à partir de l'analyse de la composition isotopique en oxygène 18 et en deutérium des glaces. En effet, il existe une relation empirique entre la composition isotopique des précipitations et la température atmosphérique à laquelle se forment ces précipitations. Cette relation, appelée thermomètre isotopique et basée sur des mesures actuelles, est extrapolée pour reconstruire les variations de température passées. Ce "thermomètre" montre qu'en Antarctique seulement 10°C séparent les périodes glaciaires des périodes interglaciaires en moyenne annuelle. L'oxygène 18 et le deutérium ne sont cependant pas sensibles de la même manière aux divers fractionnements isotopiques qui interviennent au cours du cycle de l'eau et au second ordre leur différence (excès en deutérium) nous informe sur les conditions de température à la source océanique des précipitations (Vimeux et al., 1999).

On peut ainsi quantifier l'impact de l'activité humaine par rapport aux teneurs pré-industrielles et préciser la relation entre gaz à effet de serre et climat (Figure 2). L'un des résultats phares obtenus à partir des enregistrements cités ci-dessus, sur le site de Vostok (Antarctique de l'Est), est le parallélisme des variations de températures de l'air et de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre sur les 400 000 dernières années (Petit et al., 1999) (fig. 2).

Conclusion

Depuis une dizaine d'années, on s'intéresse de plus en plus au climat tropical qui semble t-il joue un rôle essentiel dans notre système climatique. Dans ce cadre, plusieurs carottes de glace ont été forées dans les Andes sud-américaines. Ainsi a-t-on pu étudier en détail des phénomènes de type El Nino et leurs variations dans le passé. Malheureusement, parce que ces glaces sont plus riches en impuretés et plus acides il n'est pas possible d'y mesurer les concentrations du dioxyde de carbone des bulles d'air qui réagit avec la glace environnante.

Références bibliographiques

Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola JM, Basile I, Bender M, Chapellaz J, Davis J, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov VM, Legrand M, Lipenkov V, Lorius C, Pépin L, Ritz C, Saltzman E, Stievenard M (1999) : 420,000 Years of Climate and Atmospheric History Revealed by the Vostok Deep Antarctic ice Core, *Nature* 399, 429-436.

Vimeux F, Masson V, Jouzel J, Stievenard M, Petit JR (1999) : Glacial-interglacial changes in ocean surface conditions in the Southern Hemisphere, *Nature* 398, 410-413.

**QUELQUES PARTICULARITÉS DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE
DANS UN CLIMAT DE TRANSITION :
CAS DU DEPARTEMENT DU ZOU AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)**

I. Yabi, F. Afouda et M. Boko

Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes
Département de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin
e-mail : yafid2@yahoo.fr

Résumé : Le secteur d'étude qui est le centre-Bénin correspond à la zone de transition climatique entre le climat subéquatorial du sud et le climat soudanien au nord. L'étude montre qu'à la faveur des récessions pluviométriques amorcées depuis les années 1970, le climat soudanien imprime ses caractéristiques à cette partie du pays.

Mots clés : Transition climatique ; Variabilité ; Tendances ; Changement climatique.

Abstract: The central region of Benin corresponds to a climate transition sector between subequatorial climate in the South and soudanian climate in the North. The study shows that with pluviometric reduction started since 1970, soudanian climate takes place in the climate transition

Keys words: transition climatic ; variability ; climate change.

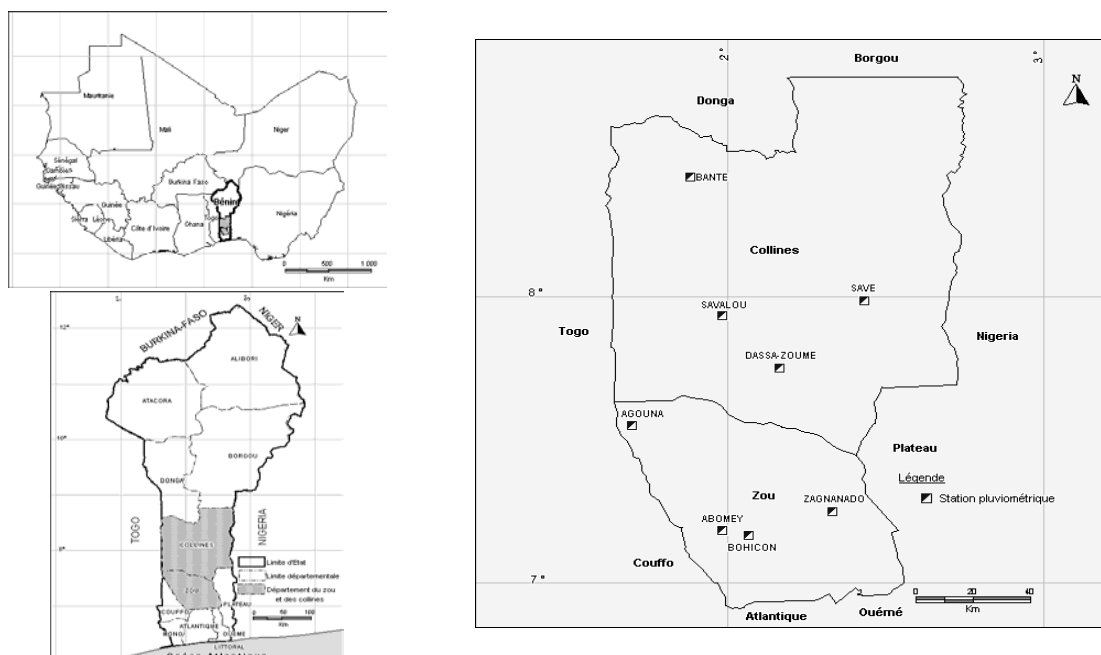
Introduction

Le domaine d'étude, (le moyen-Bénin) est situé dans la zone de transition climatique, encadrée par les climats de type subéquatorial au sud et le type soudanien au nord. De nos jours, l'hypothèse d'un changement climatique anime les débats scientifiques à tous les niveaux. Il convient d'observer les mutations qui affectent les zones de marges afin de mesurer les changements qui surviennent. Le climat de transition étant le climat de marge à partir duquel on passe progressivement du climat subéquatorial (à quatre saisons) au soudanien (à deux saisons tranchées). Cette étude a permis de voir lequel des climats subéquatorial ou soudanien imprime ses caractéristiques au moyen-Bénin.

1. Données et méthode

Les données utilisées sont collectées à l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) et sont relatives aux hauteurs annuelles et mensuelles des pluies depuis 1941 (1951 pour Savalou) jusqu'en 2000. Les stations qui présentent plus de 5% de données manquantes ou qui sont de création récente ont été éliminées. Le test de cumul des doubles masses a permis de vérifier l'homogénéité des séries étudiées. Les ruptures de stationnarité ont été mises en évidence par le test de Mann-Kendall. Ensuite, la période a été subdivisée en deux séries trentenaires (A et B) pour affiner les analyses. La série A, dite humide, va de 1941 à 1970 et la série B dite récessionniste s'étant de 1971 à 2000. La moyenne arithmétique, l'écart type, les coefficients de variation (cv) et les indices pluviométriques ont été calculés pour chaque série. Les courbes ont été réalisées pour illustrer les résultats.

Fig.1 : Localisation géographique des stations étudiées



2. Résultats

2.1 Tendances générales

Partout la série A est la plus arrosée en témoignent les fortes moyennes tandis que la série B est la moins arrosée, ce qui traduit entre ces deux séries un déficit important par endroits :

Bohicon : - 53 mm ; Zangnanado : -101 mm ; Savalou : - 77 mm ; Savè : -88 mm

La figure 3 illustre bien une tendance à la baisse de la pluviométrie. Partout les cv ont baissé entre A et B notamment au-delà de la latitude de Kétou où ils varient entre 0,17 et 0,20. Ces constats amènent à conclure qu'il y a une stabilité à la baisse mais que les stations du sud sont encore plus instables.

2.2 Variations temporelles

On peut observer les particularités suivantes à au pas de temps mensuel entre les deux séries :

- partout il y a une tendance à une concentration plus grande des mois les plus arrosés (juin, juillet, août et septembre). A titre d'exemples, les stations de Bohicon, Savè, Savalou concentrent dans l'ordre 51,8%, 57,2% et 56,8% du total annuel de pluie ce qui donne une augmentation respective de 3,1%, 3,8% et 2,6%. Par contre, le volume des pluies en début et à la fin de la période humide a diminué presque partout durant la seconde série ;
- Par ailleurs l'inflexion des pluies observée en août (qui donne la petite saison sèche) s'estompe progressivement si bien que ce mois est partout humide en B. On passe progressivement du régime bi modal à base large au régime unimodal caractéristique du climat soudanien.

Fig. 2 : Mise en évidence des tendances et ruptures à l'aide du test de Mann –Kendall

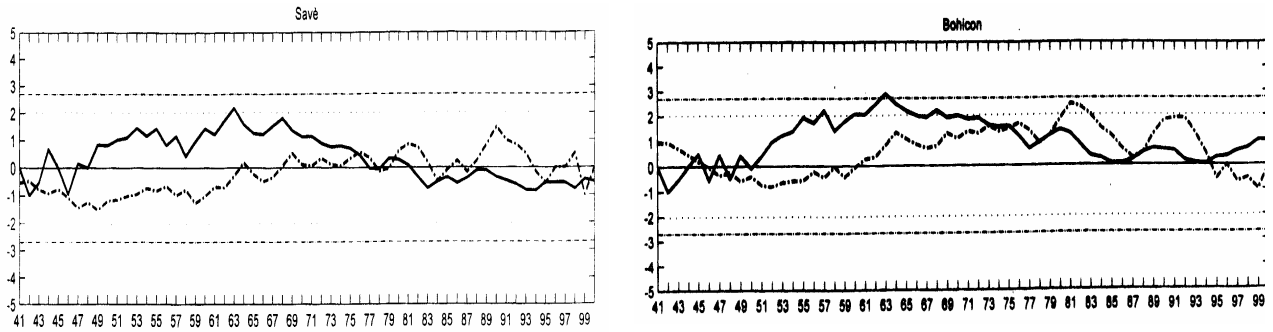


Fig. 3 : Mise en évidence des tendances pluviométrique à l'aide des indices pluviométriques

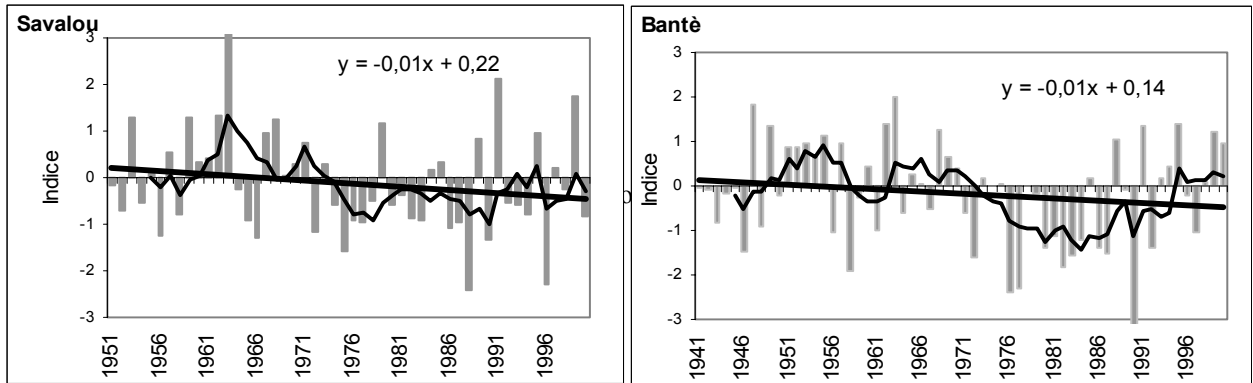
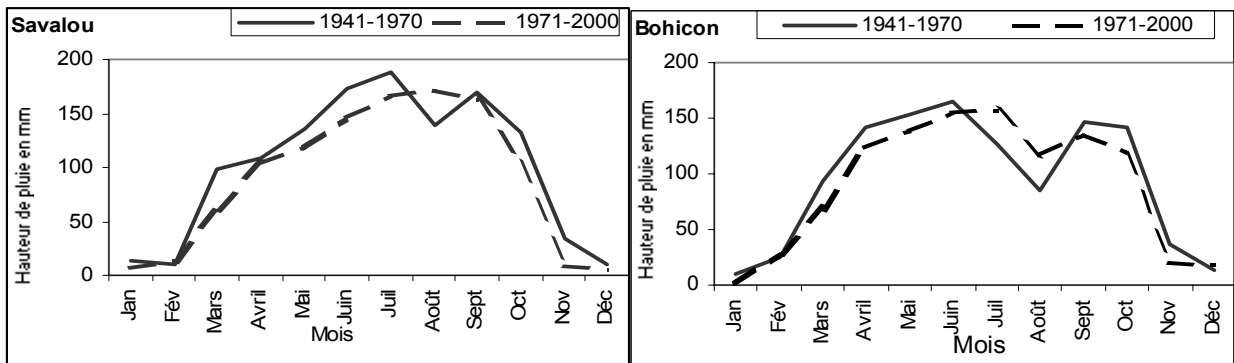


Fig. 4 : Evolution des régimes pluviométriques entre les deux séries



Conclusion

Au terme de cette étude les remarques suivantes ont été faites :

- la période 1970-2000 est marquée par une tendance à la baisse pluviométrique. Les valeurs des C.V annuels deviennent faibles ce qui révèle une certaine stabilité à la baisse des moyennes annuelles ;
- de plus en plus les pluies commencent tard et s'arrêtent tôt ;

- une concentration de pluie de juin en septembre ;

- l'inflexion pluviométrique du mois d'août disparaît progressivement et l'on passe du régime bimodal au régime unimodal mais à base encore large.

Le mois d'août plus pluvieux indiquerait-il alors que l'Equateur météorologique monterait moins haut qu'à l'ordinaire au point que la zone D, arrière du mécanisme pluviogénique de la ZIC (Leroux,1983) serait-elle aussi plus haute en latitude ? Un examen de la situation au nord du Sahel permettrait de vérifier cette hypothèse.

Au regard de ces constats, on peut se demander si le soudanien ne tend pas à imposer son rythme à cette latitude. De toutes les manières, l'hypothèse d'un changement de régime pluviométrique tend à se vérifier.

Références bibliographiques

AFOUDA, F., 1990 : L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans les relations avec le milieu rural de savane africaine. Thèse de doctorat nouveau régime, Paris. Sorbonne. 428p.

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.

LECREDE, 1996 : Récession pluviométrique et mutation socio-économiques dans le Département du Zou. Coopération inter-universitaire Bénin-Dijon.

LEROUX, 1983 : Le climat de l'Afrique tropicale. Thèse de doctorat d'état. Université de Bourgogne, Dijon. 1427 pages.

PERARD, J., 1992 : Estimation des contraintes climatiques en Afrique tropicale, approche méthodologique. Publication de l'AIC, 12 : 99-104.

YABI I., 2002 : Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8°N au Bénin. Mémoire de maîtrise FLASH - UAC, Abomey-Calavi. 96p.

THEME 3

CLIMATS, SOCIETES, PAYSAGES...

Connaissance du climat

Applications et enjeux de la climatologie

**APPLICATION DE LA CLIMATOLOGIE URBAINE :
LA CARTE DES *CLIMATOPES* DE LISBONNE COMME PREPARATION
DE CARTES D'ORIENTATION POUR L'AMENAGEMENT**

M. J. Alcoforado, H. Andrade, A. Lopes, J. Vasconcelos et R. Vieira

Centro de Estudos Geográficos ; Universidade de Lisboa, Portugal

e-mail : mjalcoforado@mail.telepac.pt

Résumé : On présente les étapes de construction d'une carte d'unités climatologiques (climatopes), à partir de la morphologie urbaine et de la ventilation. Sur cette carte, on limite les aires 'homogènes' (du point de vue physique, c'est-à-dire à l'intérieur desquelles les microclimats urbains et les problèmes climatiques sont semblables). Dans ce travail en voie de conclusion, on fournira des orientations pour l'aménagement (sous forme cartographique ou de liste de mesures) pour les climatopes ou groupes de climatopes, inclus dans les espaces 'non consolidés' délimités par la Municipalité.

Mots-clés : climat urbain; climatologie appliquée; cartes climatiques; Lisbonne.

Abstract: Urban climate studies application: Lisbon's climatope map as a basis for preparing guidelines for urban planning. In this presentation the different procedures to construct climatope map from Lisbon are presented. Climatopes are areas of characteristic combinations of climatic factors and of similar relative significance for their surroundings (Scherer et al, 1999). The map was based on two others: construction density and ventilation areas maps. The first was based on several cartographical documents, such as building height maps and a Landsat image. The second was mainly based on a DTM. In the last part of our research, in the frame of the CLIMLIS project, guidelines for planning will be given for climatopes or climatope groups included in the areas, classified by the Municipality as 'non consolidated'.

Key words: urban climate; applied climatology; climatic maps; Lisbon.

Introduction

Le climat est une variable 'physique' qui est rarement prise en compte dans l'aménagement. L'objectif de cette communication est de présenter et de soumettre à la discussion la 'traduction' des résultats de la recherche théorique sur le climat urbain de Lisbonne en documents cartographiques utilisables par les aménageurs. Ces résultats correspondent à la phase de conclusion du projet CLIMLIS.¹

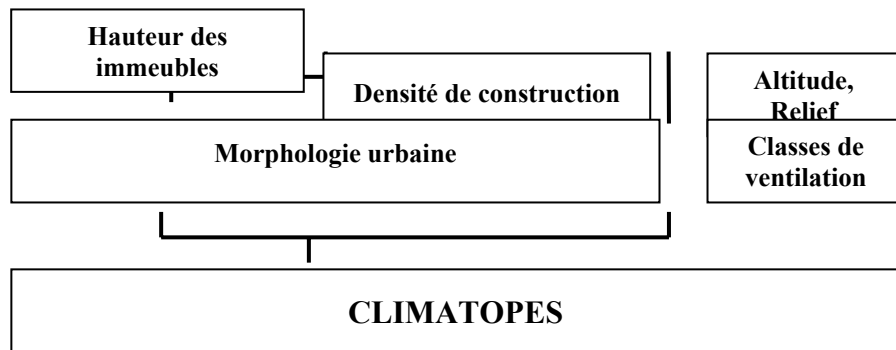
Un des objectifs du projet est la préparation de cartes d'orientation pour l'aménagement à diverses échelles. Pour faciliter le tracé des limites de la carte prévue et pour délimiter des aires urbaines homogènes, on a construit la carte des unités clima-topologiques ou *climatopes*. Les *climatopes* sont des aires à morphologie urbaine uniforme, qui interagissent de façon identique avec l'atmosphère (Scherer et al., 1999). La procédure suivie pour la construction de la carte des climatopes va être décrite, et un schéma théorique servant de base à l'élaboration des cartes des principales orientations pour l'aménagement sera présenté. Les cartes ne peuvent pas être reproduites, parce qu'elles sont illisibles en A₄ et sans couleur.

¹ Prescription of climatic principles in urban planning. Application to Lisbon, financé par la 'Fundação para a Ciência e Tecnologia' et par le FEDER (POCTI/34683/GEO/2000)

1. Construction de la carte des climatopes

La procédure suivie pour la construction de la carte des climatopes est résumée par la figure 1.

Fig.1 : Procédure suivie pour la délimitation des unités climatologiques (climatopes)



1.1 Description cartographique de la morphologie urbaine

1.1.1 Hauteur des immeubles

L'information a été fournie par la Mairie de Lisbonne (Câmara Municipal de Lisboa): une carte avec indication ponctuelle de l'altitude du point le plus élevé de chaque immeuble, ce qui a permis une délimitation d'aires d'égale hauteur des immeubles. Trois classes ont été choisies. Les deux premières regroupent des aires où la hauteur des immeubles est assez uniforme. Les limites de 15 et de 30m retenues sont le fruit d'une décision subjective. Une autre classe a été constituée, où sont regroupées les espaces où des 'tours' alternent avec des immeubles moins hauts.

1.1.2. Densité de construction

La densité de construction a été obtenue à partir d'une image Landsat du 19 août 1994 (pixel 60m). Une classification assistée a été effectuée (*maximum likelihood*), liant les différents pixels à ceux dont la rugosité (z_0) a été préalablement déterminée, selon la méthode expliquée par Lopes (2002). Quatre classes ont été retenues: une groupant les espaces verts et les trois autres correspondant à trois degrés de densité de construction (faible ou nulle, moyenne, forte).

1.1.3. Carte de la morphologie urbaine

Cette carte a été obtenue en croisant les deux cartes antérieures.

Comme on le verra pendant l'exposé, il existe un noyau de forte densité et d'immeubles de hauteur supérieure à 30 m, tout au sud de la ville (la *Baixa*), alors que sur les collines à l'est et à l'ouest et le long du Tage, la densité de construction est élevée, mais la hauteur des immeubles inférieure à 15 m. C'est vers le nord et le nord-ouest de la *Baixa* que la surface avec forte densité et immeubles élevés est plus vaste. Les aires hétérogènes sont peuplées de tours; elles se resserrent et commencent à former une barrière au nord de la ville. Cette barrière ne devra, à aucun prix, être continue, pour ne pas empêcher la circulation des fréquents vents du Nord.

1.2. Classes de ventilation

Les classes de ventilation ont été définies à partir du relief (modèle digital du terrain) et de la connaissance du régime des vents et de l'importance des brises de mer et de l'estuaire du Tage. À partir du modèle digital du terrain, l'altitude relative a été calculée par rapport à une surface de tendance statistique du relief, comme il est expliqué par Lopes (1998). À partir de la carte de l'altitude relative, on a identifié les principales formes du relief de la ville de Lisbonne: remblaiement littoral, fonds de vallée, plateaux, sommets et versants, selon des critères qui seront exposés oralement.

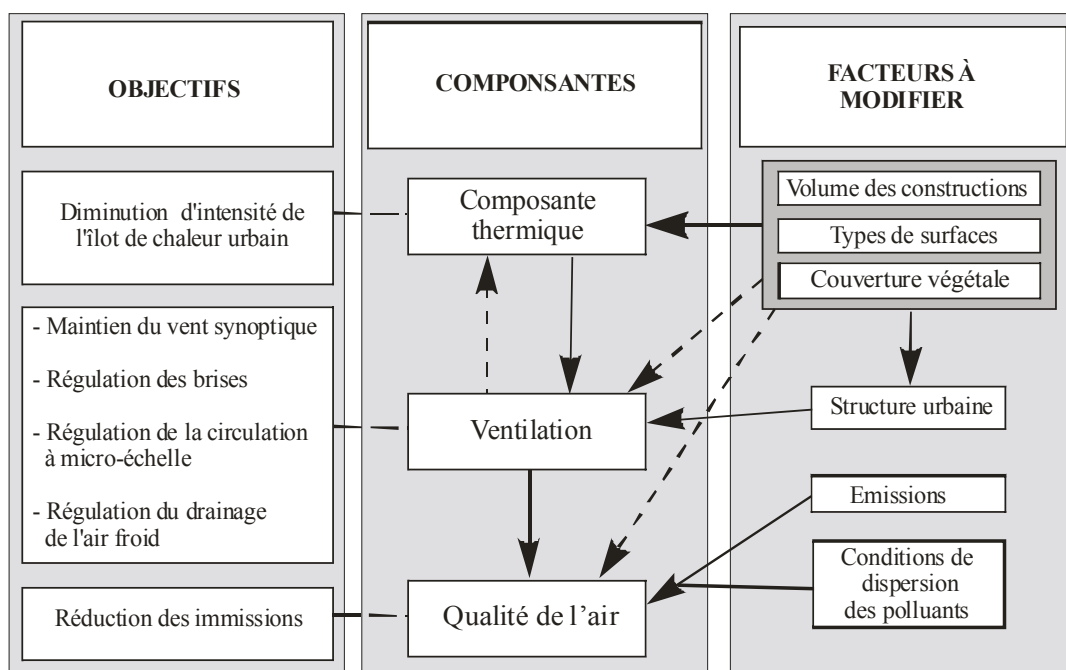
Les classes de ventilation ont été délimitées sur la carte du relief en fonction de travaux antérieurs (Alcoforado, 1987 ; Alcoforado, 1992 ; Lopes, 2003 ; Andrade, 2003). Les classes retenues seront commentées oralement.

2. Carte des climatopes de Lisbonne

La carte des climatopes a été obtenue par la superposition des cartes de morphologie urbaine et de ventilation. La légende combinée sera présentée lors de l'exposé. Cette carte fournit une classification de l'espace urbain, en fonction des caractéristiques physiques du substratum et de la ventilation.

3. Orientations climatiques pour l'aménagement

À partir de l'exemple d'autres villes (Mayer *et al.*, 1994 ; Parlow, 1997 ; Scherer *et al.*, 1999) et d'études antérieures, on a défini les objectifs climatiques principaux à atteindre à Lisbonne (colonne de gauche) pour modifier la 'composante thermique', la ventilation et la qualité de l'air à Lisbonne (au centre). Les éléments susceptibles d'être modifiés sont indiqués sur la colonne de droite.



Conclusion

Dans la phase finale du projet, on a amorcé le dialogue avec le Département d'Aménagement Stratégique de la Mairie de Lisbonne, qui s'occupe de la préparation du nouveau plan de développement municipal (Alcoforado et Vieira, 2004).

Après des réunions préparatoires à la recherche d'un langage commun, il a été convenu que nous allions proposer des orientations climatiques (sous forme cartographique ou de listes de mesures à prendre) pour l'aménagement de chaque climatope (ou groupe de climatopes) inclus dans des *espaces non consolidés* (c'est-à-dire où il est encore possible de prendre des mesures pour améliorer, ou au moins ne pas empirer, la qualité des microclimats), délimités sur le Plan de Développement Municipal) et dans d'autres quartiers où la Municipalité estime qu'il est encore possible et souhaitable d'intervenir.

Références bibliographiques

- ALCOFORADO M.J. (1987) – Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa, *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XXII (43) : 71-112.
- ALCOFORADO M.J. (1992) – O Clima da Região de Lisboa. Contrastes e Ritmos térmicos, *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*. Lisboa : CEG, vol. 15: 347 p.
- ALCOFORADO M.J, LOPES A., ANDRADE H. (1999) – Cartes thermiques et cartes du “risque” d’occurrence de basses températures en milieu urbain à Lisbonne, *Publications de l’Association Internationale de Climatologie*, vol.12 : 433-441.
- ALCOFORADO M.J., VIEIRA H. (2004) – O Clima urbano nos Planos Directores Municipais, *Sociedade e Território*, Lisboa, 37 : 101-116.
- ANDRADE H. (2003) *Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa*. Thèse de Doctorat en Géographie Physique, Université de Lisbonne:435p.
- LOPES A. (1998) – Modelling night temperatures in the south of Lisbon Peninsula with a GIS, *Proceedings of the Pre-Regional Conference Meeting on the Commission on Climatology*, Évora : 25-26.
- LOPES A (2002) – The influence of the growth of Lisbon on summer wind fields and its environmental implications. *Proceedings of the Tyndall/CIB International Conference on Climate Change and Built Environment*. UMIST, Manchester.
- LOPES A. (2003) – *Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*, Thèse de Doctorat en Géographie Physique, Université de Lisbonne : 375p.
- MAYER H., BECKRÖGE W., MATZARAKIS A. (1994) – *Bestimmung von stadtrelevanten Luftleitbahne*, VP-Report 5/94 : 265-267.
- PARLOW et al. (1997) - Satellite-based climate analysis of Basel/Switzerland, *Proceedings 3rd ERS Symp. on Space at the service of our Environment*, Florence. Italy, ESA.
- SCHERER et al. (1999) – Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes, *Atmospheric Environment*, 33 : 4185-4193.

LA SPATIALISATION DES TEMPERATURES MENSUELLES EN ANDALOUSIE

J. Alvarez et M^a F. Pita

Faculté de Géographie et AGR de l'Université de Seville, Espagne

e-mail : jose_afra@yahoo.es

Résumé : La communication présente les résultats de l'application de plusieurs méthodes de spatialisation des températures en Andalousie.

Mots-clés : Température, interpolation spatiale, modèles de régression, Andalousie.

Abstract: The paper presents the results of the application of several interpolation methods in air temperature estimation in Andalusia.

Key Words: Temperature, spatial interpolation, regression models, Andalusia.

Introduction

La bonne connaissance de la distribution spatiale des variables climatiques est fondamentale pour de nombreuses études ; cette connaissance devient plus aisée lorsque deux facteurs sont réunis : un réseau de stations de mesure dense et une variabilité réduite du phénomène à analyser. En ce qui concerne la température, une variable essentielle étant donné ses nombreuses répercussions environnementales, le réseau de stations de mesure installé en Andalousie est loin d'être suffisant en vue de son spatialisation ; aussi, la diversité de la région du point de vue physiographique implique-t-elle une variabilité spatiale considérable. Pour résoudre ce problème on a recours à la modélisation. Pourtant, dans notre région, la température a fait l'objet de très peu d'essais de modélisation spatiale. Cette étude veut apporter une contribution au comblement de cette lacune.

L'étude réalisée visait donc à l'identification des meilleurs modèles de spatialisation des températures mensuelles maxima et moyennes en Andalousie à partir des données de la période 1961-1990 recueillies dans 104 stations thermométriques appartenant à l'Institut National de Météorologie. Un échantillon de 26 stations (25 %) a été réservé afin qu'il puisse être utilisé pour tester la qualité des modèles de spatialisation appliqués.

1. Sources d'information

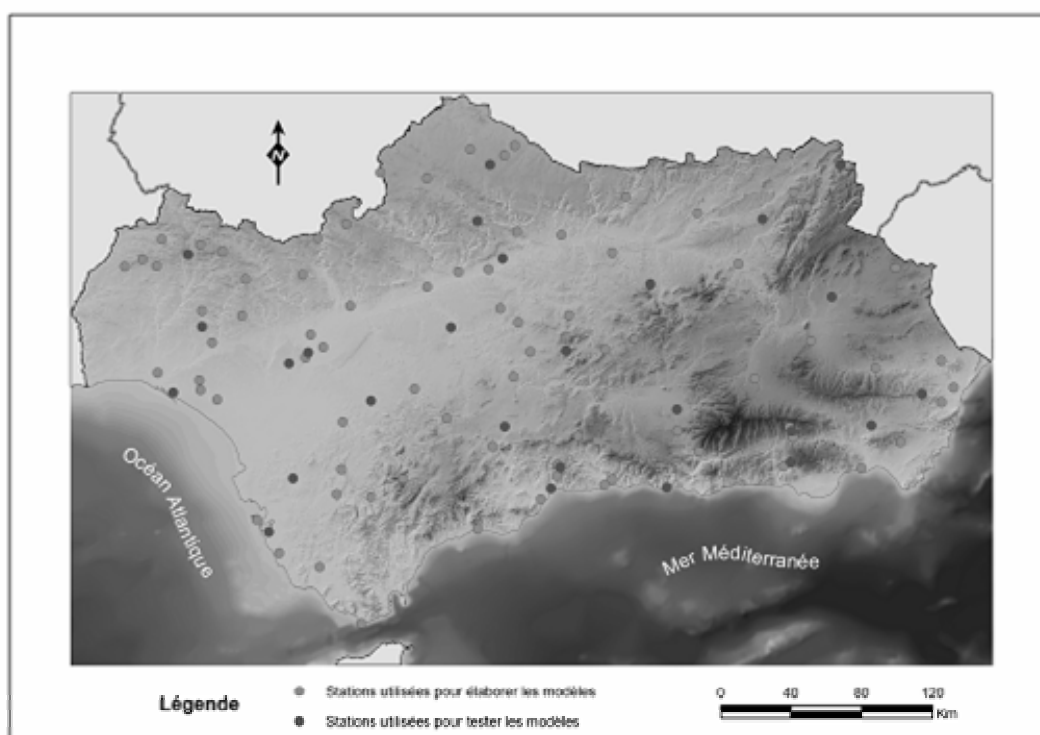
Pour la réalisation de cette étude on a pu disposer des données issues du réseau de stations thermométriques de l'Institut National de Météorologie (INM). Cet organisme est celui qui possède le plus grand nombre de stations de ce genre dans la région, et le seul qui peut fournir les séries de données historiques nécessaires à l'étude envisagée.

La période d'étude considérée a été celle comprise entre 1961 et 1990 ; cependant, l'existence de lacunes qui auraient provoqué des espaces vides trop étendus nous a obligé à relâcher quelque peu nos exigences afin de ne pas perdre un nombre trop élevé de stations. Nous avons donc fixé un minimum de 20 années de données dans la période mentionnée pour que la station puisse faire partie de l'étude.

On a finalement obtenu les moyennes des températures moyennes et maxima mensuelles pour la période dans 104 stations thermométriques. De façon aléatoire on a procédé à sélectionner un 25% de cet ensemble (26 stations), qui a été réservé pour effectuer l'évaluation de la qualité des méthodes de spatialisation (cf. fig. 1).

On peut remarquer sur la figure 1 que les stations sont réparties de façon très homogène, ce qui permet les considérer (malgré leur nombre relativement réduit, de 78 stations finalement) assez représentatives de la diversité thermométrique régionale.

Fig. 1. Stations météorologiques utilisés dans l'étude.



D'autre part, en ce qui concerne les caractéristiques physiographiques de chaque station (essentiellement leur altitude et leur distance à la mer), elles ont été extraites du Modèle Numérique de Terrain d'Andalousie réalisé à partir de la Carte Topographique d'Andalousie à échelle 1 : 50000, avec une résolution de pixel de 500 mètres. Il faut remarquer que les stations se trouvent pour la plupart à des basses altitudes, au-dessous de 500 mètres, et que seulement deux sont à plus de 1000 mètres. Étant donnée que l'altitude maximum atteint en Andalousie environ 3500 mètres et qu'un 12% du territoire se place au-dessus des 1000 mètres, on comprend bien les contraintes que pose l'utilisation de l'altitude comme prédicteur de la température dans les lieux les plus élevés. Il faudrait stimuler le développement des réseaux de mesure dans les régions les plus élevées pour faire face à cette contrainte.

La distance à la mer a été calculée à partir des coordonnées géographiques de chaque station, à l'aide d'un SIG.

2. Méthodes utilisées

Les méthodes d'interpolation pour la spatialisation des variables climatiques et les méthodes d'interpolation en général, peuvent être classifiées en deux groupes : les méthodes locales et globales (Burrough and McDonnell, 1998). La différence est basée sur la façon dont les points échantillonnés sont utilisés pour estimer les points inconnus. Les méthodes globales se servent de l'ensemble des points pour construire un modèle d'estimation dans les localisations où il n'y a pas de mesure et les méthodes locales utilisent une partie des points connus, situés au voisinage du point inconnu, pour en estimer la valeur.

Dans cette étude, nous avons appliqué la méthode de la régression linéaire multiple ; une fois obtenus les paramètres des équations de régression (tab. 1) pour chaque mois, nous avons réduit les valeurs de la température dans chaque station en utilisant les équations correspondantes ; ensuite, ces valeurs réduites ont été spatialisées avec de méthodes différentes, tel l'Inverse de la Distance Pondérée au Carré (IDW2) ou le Kriging Ordinaire. Finalement, nous avons appliqué le gradient multiple à la surface de températures obtenue mais cette fois dans le sens inverse. Les résultats ont été testés à aide de l'erreur moyenne quadratique (RMSE) calculée à partir des données des stations qui avaient été préalablement exclues de l'élaboration des modèles.

Dans la méthode de régression multiple appliquée, nous avons introduit comme variables indépendantes l'altitude, la distance à la mer, la latitude et la longitude du pixel correspondant à chaque station thermométrique.

Tab. 1 : Variables et coefficients de détermination (R^2) des modèles obtenus pour les températures moyennes mensuelles des 12 mois de l'année.

MOIS	MODÈLE	R^2
septembre		0,667
octobre	Regresión simple, var indep.: altitude	0,813
novembre	Régression multiple, var indep.: altitude y latitude	0,819
décembre	Régression multiple, var indep.: altitude y distance à la mer	0,820
janvier	Régression multiple, var indep.: altitude y distance à la mer	0,805
février	Régression multiple, var indep.: altitude y latitude	0,851
Régression multiple, var indep.: altitude y distance à la mer		
mars	Régression multiple, var indep.: altitude y longitude	0,782
avril	Regresión simple, var indep.: altitude	0,774
mai	Régression multiple, var indep.: altitude, distance à la mer y longitude	0,699
juin	Régression multiple, var indep.: altitude, distance à la mer y longitude	0,659
julliet	Régression multiple, var indep.: altitude, distance à la mer y longitude	0,553
aout	Régression multiple, var indep.: altitude, distance à la mer y longitude	0,556

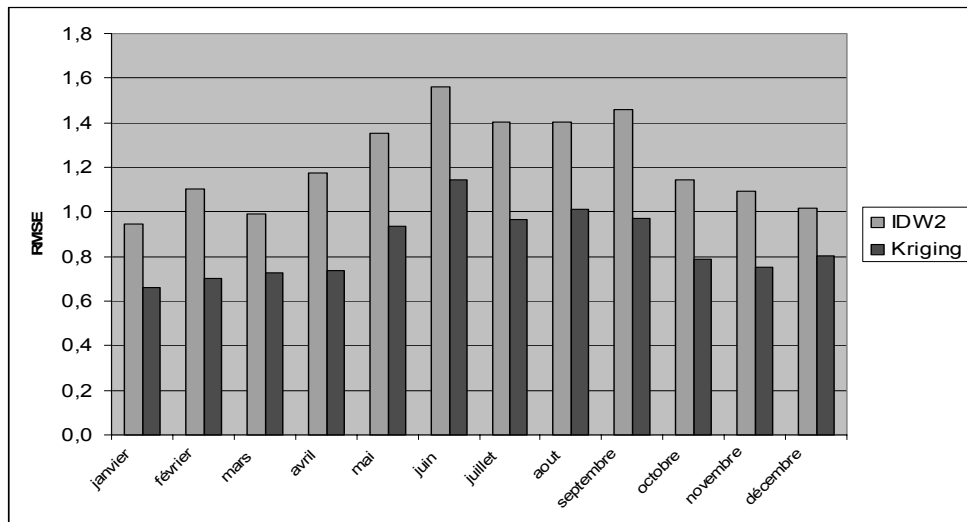
Conclusions

En ce qui concerne les résultats, on attirera l'attention sur deux points :

- la bonne qualité des modèles dans la plupart des mois, avec une nette différenciation entre les mois hivernaux (novembre – février, avec la meilleure qualité) et les mois estivaux (mai – septembre, de qualité plus médiocre, particulièrement dans le cas des mois de plein été). Les modèles mixtes régression multiple-kriging ordinaire montrent les meilleurs résultats dans tous les mois, en réduisant le RMSE d'environ 30% par rapport aux modèles qui utilisent l'IDW2 (fig. 2) ;

- d'autre part, on remarque, dans les cas des mois estivaux, que les résidus présentent une claire structure spatiale : le Nord Ouest de la région montre des résidus positifs, tandis que dans le Sud Est, les valeurs qui prédominent sont les négatives. Cette étude doit se continuer en approfondissant dans l'analyse du comportement spatial de la température dan ces mois estivaux.

Figure 2 : Racine carré de l'erreur moyenne quadratique pour les méthodes IDW2 et kriging.



Références bibliographiques

BURROUGH P.A., MCDONNELL, R.A., 1998 : Principles of geographical information systems.

COLLINS JR., F.C., 1996 : A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation, in Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modelling.

LEGATES D.R., WILLMOTT C.J., 1990 : Mean Seasonal and Spatial Variability in Global Surface Air Temperature, Theoretical Applied Climatology, vol. 41, pp. 11-21.

IMPACT POSSIBLE D'UN FUTUR REMBLAI ROUTIER SUR L'ALEA GEL : LE CAS DE RN 59 DANS LE VIGNOBLE ALSACIEN DE CHATENOIS

G. Beltrando ^(1, 2), **H. Quénot** ^(1, 2), **S. Bridier** ^(1, 3) et **A. Sahal** ^(1, 2)

⁽¹⁾ UMR 8586 (PRODIG)

Equipe Dynamique des Milieux et Risques

e-mail : beltrando@paris7.jussieu.fr

⁽²⁾ Université Denis Diderot (Paris VII)

⁽³⁾ Université de Provence

Résumé : Afin d'évaluer l'éventuelle incidence d'un futur remblai routier qui pourrait perturber l'écoulement de l'air froid dans un vignoble, une campagne de mesures a été réalisée en avril 2003, sur le site. Une analyse de la direction théorique des écoulements d'air, réalisée à partir d'un MNT, confirme la présence de cet écoulement froid laminaire. Manifestement, plusieurs dizaines d'hectares de vigne pourraient être concernées par un risque supplémentaire de gel dommageable.

Mots-clés : risque de gel, lac d'air froid, morphométrie, vignoble d'Alsace

Abstract: For the evaluation of the possible incidence of a future road embankment which could disturb superficial cold air in a vineyard, a series of measurements was carried out, on the site, in April 2003. An analysis of the theoretical direction of the flows air, was carried out by DEM, confirms the presence of this laminar cold flow. Several tens hectares of vine could be concerned with an additional risk of damageable freezing.

Key-words: frost risk, morphometry, cold air lake, Alsace vineyard

Introduction

Dans le département du Bas-Rhin, la Direction Départementale de l'équipement (DDE 67) a prévu le contournement du village de Châtenois (nord-ouest de l'agglomération de Sélestat) en aménageant une déviation de la RN 59. Cette nouvelle voie traversera le vignoble AOC d'Alsace dans la vallée du Giessen en contrebas des coteaux du Hanenberg et du Sommerberg. Cette vallée, a fond relativement étroit (moins de 1 km de large) et à pente faible (pente inférieure à 1% sur le site d'étude), aboutit au niveau de la commune de Châtenois, à la Plaine d'Alsace. En situations de ciel clair ou peu nuageux et de vents faibles ou nuls (appelées ici « radiatives »), l'ouvrage routier en remblai constituera un obstacle à l'air froid qui s'écoule naturellement en suivant les lignes de plus grande pente, vers les parties les plus basses de la plaine, hors du vignoble. L'accumulation de l'air froid en amont du remblai pourra générer un risque supplémentaire de gel dommageable pour les vignes qui, au moment du débourrement des bourgeons (avril-mai), sont particulièrement vulnérables aux basses températures. Afin d'estimer l'impact du futur remblai sur l'augmentation de l'aléa gel, de manière à envisager, si nécessaire, des améliorations diverses à apporter aux viticulteurs (allant de la compensation financière à l'annulation du projet), une étude des écoulements superficiels et de la spatialisation des températures minimales a été réalisée.

1. Données collectées et méthode

Trois types de mesures ont été réalisés : d'une part, la vitesse et la direction des écoulements gravitaires, d'autre part, les températures minimales et enfin l'humidité relative (seules les deux premières sont évoquées ici).

- Une girouette électronique a permis d'enregistrer la direction des écoulements gravitaires sur un point fixe (point le plus bas à l'emplacement du futur remblai) durant toute la nuit suivant un pas de temps de 30 secondes. La vitesse des écoulements a été mesurée avec un anémomètre portable (testo). Sur 16 autres points de mesures, une girouette en balsa (poids de la partie mobile 1,5 g) a été employée pour mesurer la direction des écoulements d'air de faible vitesse. Ces mesures réalisées suivant un itinéraire prédéfini ont permis de décrire l'aérogologie nocturne près de la surface en situations favorables au gel radiatif. Elles ont été réalisées avec un pas de temps régulier du début de la nuit jusqu'au lever du jour.

- Dix-sept thermomètres enregistreurs (type TinyTalk) ont été répartis dans le vignoble. Les capteurs étaient placés hors abri et à 80 cm de la surface (hauteur moyenne du bourgeon) ainsi qu'à 2, 4 et 5m sur l'un des points, de manière à observer la stratification thermique de l'air froid (ces capteurs permettent de mesurer, suivant un pas de temps prédéfini, la température en indice actinothermique (IA), qui est la valeur la plus proche de celle subit par la surface du végétal). La plupart des points de mesures a été disposé à proximité du remblai et sur toute la longueur du tracé (12 points). D'autres postes de mesures sont plus éloignés de l'obstacle mais répondent à des caractéristiques spécifiques nécessaires pour valider les résultats : pentes plus accentuées des coteaux (3) ; proche de la Plaine d'Alsace (1) et dans la partie nord du vignoble (1)

Les mesures se sont déroulées pour les nuits favorables à un fort refroidissement nocturne durant les trois premières semaines d'avril, c'est-à-dire au début de la période où le gel peut être dommageable. Cinq nuits de mesures consécutives ont été exploitées ici (07-08 au 11-12/04). Au cours de ces cinq nuits, les températures ont été relativement froides par rapport aux valeurs observées durant ces 30 dernières années : il y a eu durant cette période des températures sous abri inférieures à -8°C ce qui est peu fréquent à cette période de l'année.

Un Modèle Numérique de Terrain construit à partir des données radar Visual Dem (résolution horizontale de 75m et verticale de 1m), montre la topographie à l'ouest de la plaine d'Alsace. Le site d'étude, dont l'altitude est d'environ 190m et 200m, est bordée au sud par le coteau du Hanenberg (alt. env. 370m), au nord par le coteau du Sommerberg (env. 400m) et à l'ouest par le coteau du Schlossberg (env. 750 m) et le Rocher du Coucou (alt. env. 855 m). La présence de reliefs relativement imposants au nord, à l'ouest et au sud du secteur d'étude, donne une configuration topographique relativement fermée autour de la vallée du Giessen, hormis à l'est, avec l'ouverture vers la plaine d'Alsace, où l'air s'écoule par gravité. Le remblai envisagée par la DDE, traversera le vignoble selon un axe approximativement nord-ouest/sud-est dans la partie orientale de la vallée du Giessen.

2. Quelques résultats

En situation radiative, la topographie générale favorise la formation d'écoulements de l'air superficiel sur les pentes des coteaux et dans la vallée selon un système de brises imbriquées (Carrega, 1994...). L'air, qui s'écoule selon les lignes de pente des coteaux forme des écoulements gravitaires qui "se déversent" dans la vallée du Giessen où une brise de vallée descendante s'écoule de l'ouest vers l'est. La présence du remblai routier dans cette partie sub-horizontale de la vallée (pente $< 2^{\circ}$) va tout naturellement créer un barrage aux écoulements gravitaires et engendrer un lac d'air froid qui s'étendra dans le vignoble en amont de l'ouvrage ferroviaire.

Le calcul de la direction des écoulements théoriques obtenue pour trois résolutions différentes (100, 250 et 500 m), à partir de la pente, montre les axes de canalisation d'air froid en direction de la vallée (non montré). L'étude montre aussi les très faibles pentes dans le vignoble (entre 0 et 3°) à proximité du futur remblai ce qui est favorable au ralentissement de l'écoulement de l'air froid (voir un exemple

à la résolution 100m, avec masque pour les versants sur Fig. 2). Les écoulements gravitaires se dirigent vers le remblai et celui-ci empêchera leur écoulement naturel vers la Plaine d'Alsace. Quel que soit le niveau d'échelle retenu, la simulation montre que le secteur horizontal est bien le lieu de passage des écoulements gravitaires théoriques.

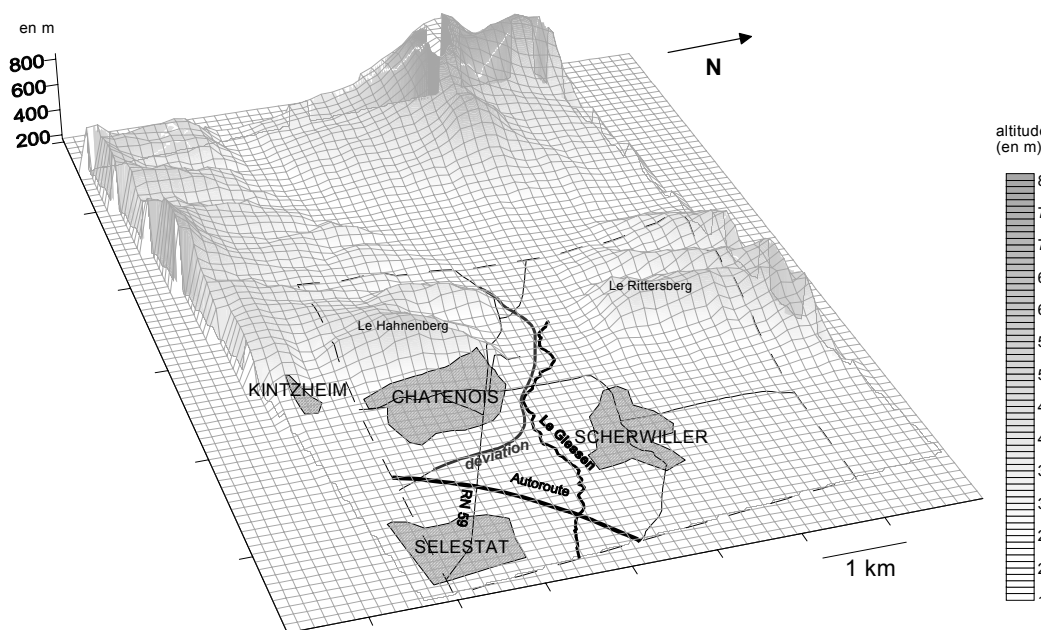


Fig. 1 : Topographie de la région d'étude (source MNT : Visual-DEM)

A l'ouest du secteur d'étude, une brise de vallée d'une vitesse supérieure à 1m/s est observée dans les vallées du Giessen (orientée vers le sud) et de la Liévprette (orientée vers le nord-est). Au niveau de la confluence entre les deux vallées, la brise s'oriente vers l'est puis dans un cadran nord-est/sud-est lorsque la vallée s'élargit. La pente étant faible, notamment vers le futur remblai, l'air au niveau de la couche superficielle du sol s'écoule beaucoup plus lentement (vitesse observée inférieure à 1 m/s les quatre premières nuits de mesure). Toutefois, l'air étant toujours en mouvement, il n'y a pas de stagnation ou de blocage qui accentuerait encore plus le refroidissement. Sur les versants avec une pente plus importante, l'air s'écoule plus rapidement (2-3 m/s). Ces écoulements gravitaires viennent ensuite alimenter la brise de vallée. Cette configuration de l'aérogologie nocturne a été observée au cours de toutes les nuits de type radiatif d'avril 2003. La répartition des températures minimales confirme ces premières observations : les valeurs les plus basses sont relevées dans les secteurs à faible pente où les écoulements nocturnes sont les plus lents c'est-à-dire dans la partie est de la vallée du Giessen, en aval du futur remblai de la RN 59. La construction du remblai engendra un blocage de l'air froid et accentuera le refroidissement dans le vignoble situé en amont de l'obstacle.

La simulation des écoulements gravitaires et des aires de convergence montre que le système d'écoulements secondaires présent au niveau des coteaux de Châtenois sera manifestement bloqué par le remblai. La figure 2 permet de visualiser les écoulements au niveau du remblai routier. L'air provenant des coteaux de Châtenois s'écoule suivant une direction parallèle à la RN 59. Une partie de l'air sera donc piégée par le barrage formé par le remblai du projet.

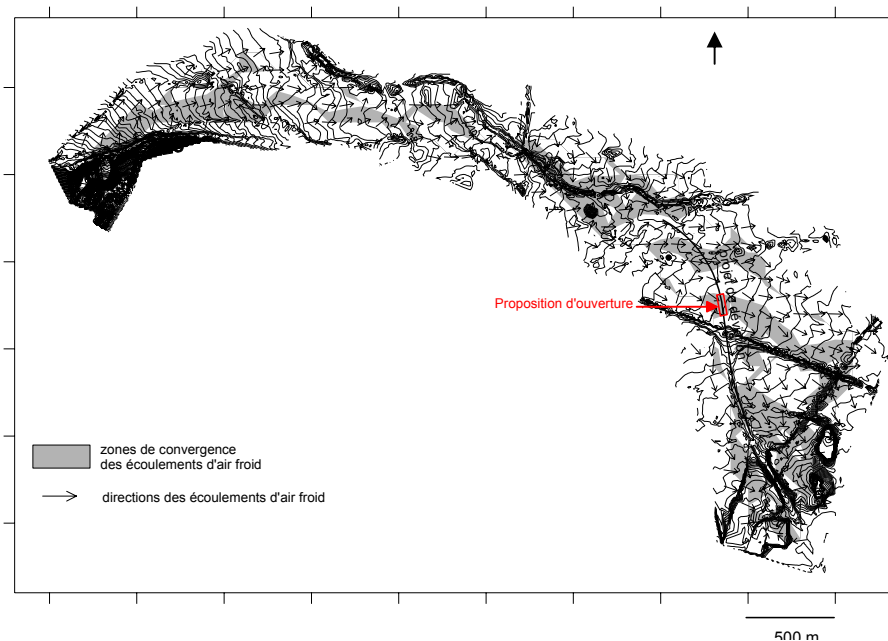


Fig. 2 : Modélisation de l'écoulement de l'air froid dans la partie aval de la vallée du Gissen, en fonction de la pente et proposition d'ouverture dans le remblai pour l'écoulement de l'air froid.

Conclusion

La fréquence d'apparition des types de temps associés à des températures minimales comparables à celles du mois d'avril 2003 est manifestement faible, mais il n'est pas possible de la préciser par manque de données adéquates. Cependant, il semble raisonnable de considérer que de tels aléas peuvent se produire certains printemps et si le risque de gel dommageable est probablement faible sur le site, il n'est possible de le préciser. Dans tous les cas, l'hypothèse d'un risque supplémentaire du à la présence d'un ouvrage en remblai, bloquant la circulation de l'air froid, est donc réel et les répercussions économiques pourraient être considérables. Par conséquent, des aménagements conséquents doivent être prévus par le Maître d'œuvre pour réduire les possibles pertes économiques que pourraient entraîner cet ouvrage.

Bibliographie

- BRIDIER S. QUENOL H. ET BELTRANDO G., 2004 : Cartographie du potentiel de refroidissement en situation radiative, *Rev. Inter. de Géomatique*, n° 3 (sous presse)
- CARREGA P., 1994 : *Topoclimatologie et habitat*. Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, Th. Et., 35 & 36, 408p.

**LA DORSALE PLUVIOMETRIQUE SUBLITTORALE EN TUNISIE ORIENTALE :
ANALYSE TOPOCLIMATIQUE EN VUE D'UNE MEILLEURE
CONNAISSANCE DES POTENTIALITES HYDRIQUES**

H. Ben Boubaker

Laboratoire de Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamique Erosive
Faculté des Lettres, Manouba, Tunisie
e-mail : habib.boubaker@flm.rnu.tn

Résumé : Une bande arrosée sublittorale caractérise la région du Sahel tunisien. Sa position, en retrait par rapport au rivage, oscille selon les années et les saisons. Plus vers l'intérieur, elle se double d'une deuxième dorsale subcontinentale.

Mots clés : Sahel Tunisien, gradients, dorsale pluviométrique, topoclimat.

Abstract: A strip watered band characterizes the back of the Tunisian Sahel coastal line. Its position varies according to years and seasons. More toward the inside, a second dorsal is observed.

Key words: tunisian Sahel, laps rate, rainy dorsal, topoclimat.

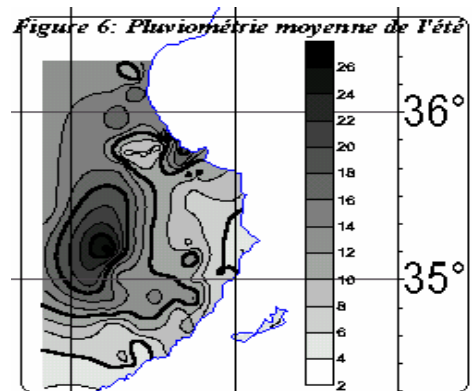
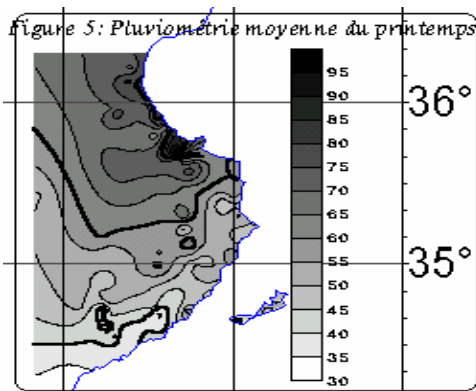
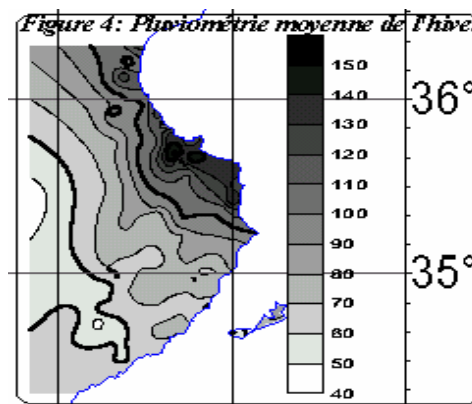
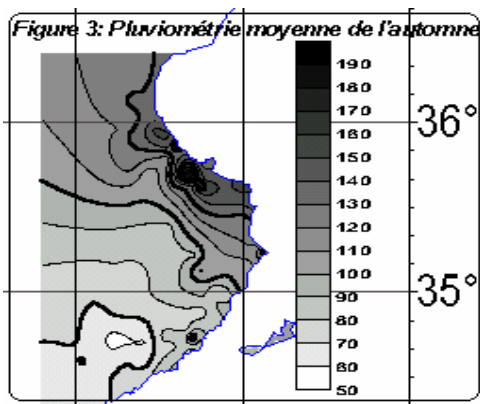
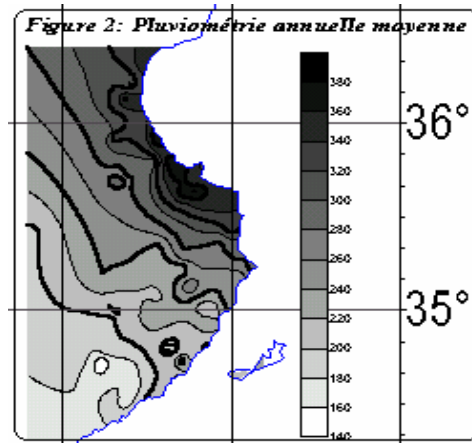
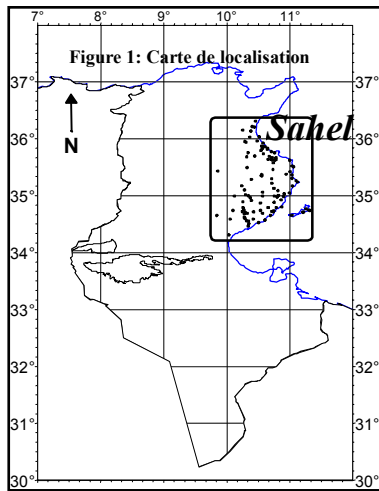
Introduction

L'observation de la carte détaillée des précipitations en Tunisie laisse voir une configuration assez particulière et originale des isohyètes au niveau du centre-est de la Tunisie centrale (Sahel au sens large). Il s'agit d'une bande relativement plus arrosée que l'espace environnant qui se dessine en retrait par rapport à la côte, sous forme d'une « Dorsale pluviométrique » (Escourrou, 1981). Sa mise en évidence est particulièrement utile pour une meilleure connaissance des spécificités topoclimatiques, en particulier topo-pluviométriques, du secteur côtier et de ses marges intérieures. Le choix de la région du Sahel pour le faire repose sur les motifs suivants :

- d'abord, les fortes concentrations de populations, des villes et des activités économiques, grandes consommatrices d'eau (agriculture, tourisme, ...) face à des ressources hydriques déjà très limitées ;
- ensuite, ses caractéristiques géographiques, en particulier son ouverture à la mer, sa topographie faiblement ondulée à plane (altitude moyenne < 100m), ainsi que sa position charnière entre le nord et le sud du pays ;
- enfin, la densité relativement satisfaisante du réseau de stations pluviométriques (fig. 1), qui autorise un suivi minutieux des champs pluviométriques.

1. Données

La présente étude repose sur les séries pluviométriques mensuelles, saisonnières et annuelles pour 145 stations sur une période de 32 ans (1970-71 à 2001-2002). Elles nous ont été gracieusement fournies par les services de l'I.N.M. et de la D.R.E. Après avoir vérifié les normes d'homogénéité et de continuité dans l'espace et dans le temps, 35 stations ont été rejetées et 110 validées (dont 101 appartiennent au seul grand bassin versant hydrologique n°7).



2. Méthodes

L'existence d'une dorsale pluviométrique se manifeste par une recrudescence des pluies en retrait d'une certaine distance par rapport au rivage (Fig. 3, 4, 5 et 6). Elle trouve son origine dans la différence de rugosité et l'interaction terre-mer, ce qui suppose la faiblesse d'autres influences géographiques. En l'occurrence, les stations insulaires, dont le comportement pluviométrique est assez particulier, ont été épargnées.

Pour mettre en exergue cette Dorsale, tout en s'assurant de la neutralité des autres influences, nous avons procédé par étapes :

2.1 L'effet de l'altitude

Vérifier l'effet de l'altitude, soit en intégrant l'ensemble des stations du Sahel, soit par tranches de latitude (1/2 degré). Curieusement, par les deux procédés, nous déduisons des gradients altimétriques négatifs à l'échelle du total pluviométrique annuel, automnal et hivernal. Peu significatifs soient-ils [tableau 1], ils traduisent une régression générale des pluies dans le sens inverse de l'augmentation de l'altitude, en allant de la côte vers l'intérieur. L'absence de corrélation significative au cours de la saison chaude (printemps et été), traduit en plus l'affirmation progressive du caractère continental vers l'arrière pays sahélien.

Tab 1: Paramètres de liaison entre pluviométrie moyenne et altitude au Sahel

	P Année	P aut	P hiver	P printemps	P été
R ²	0.312	0.393	0.332	(0.09) Non signif.	(0.01) Non signif.
Coeff. régression (a) en mm/100m	-72,8	-36,4	-29,8	-	-

2.2 Le gradient zonal

Etant donné l'étirement nord-sud de la région, il est aussi impératif de vérifier s'il existe un gradient zonal, susceptible d'influencer le comportement pluviométrique de la région. Justement, la corrélation pluviométrie/latitude s'avère significative aux différents pas du temps. Elle s'exprime par une régression linéaire nord-sud des quantités de pluies [Tableau 2]

Tab. 2 : Gradient pluviométrique linéaire zonal moyen dans le Sahel ($y = ax+b$)*

	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
Coeff. de régression (a) (mm/1° Lat.	50,62	41,45	23,45	(4,03)	119,55
R ²	0,69	0,58	0,77	0,21 (non signif)	0,77

* la fonction linéaire donne des coefficients de corrélation / aux autres formes de liaison

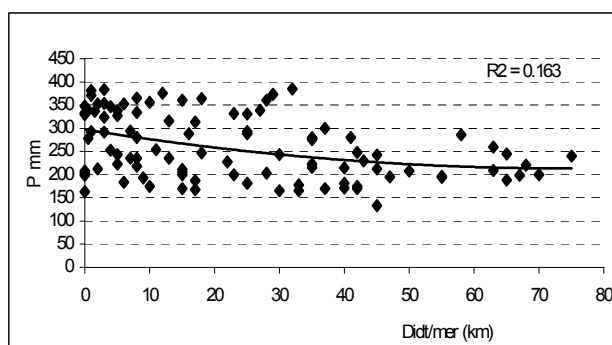


Fig.7 : Pluviométrie moyenne annuelle / distance à la côte Est

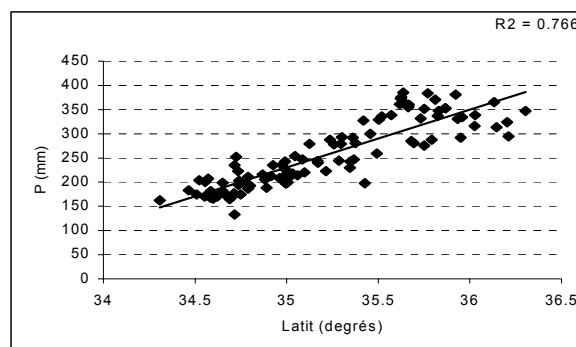


Fig. 8 : Total pluviométrique annuel moyen en fonction de la latitude au Sahel (n = 110)

2.3 Le gradient continental Est-Ouest

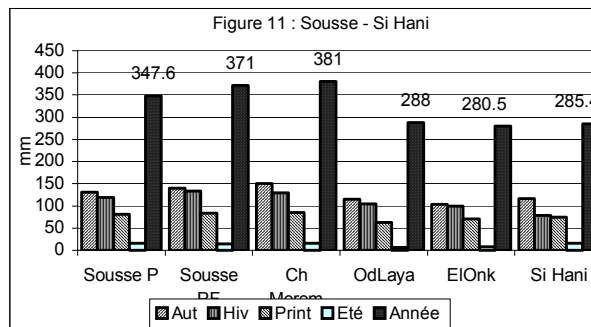
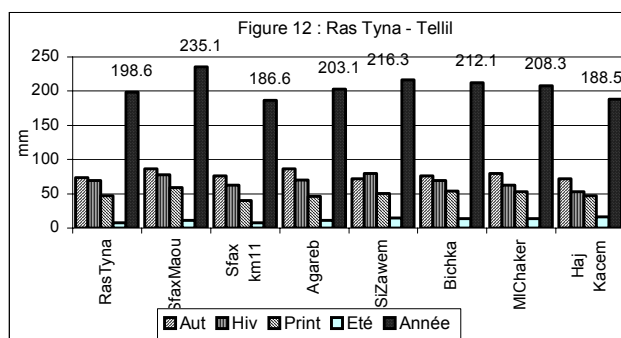
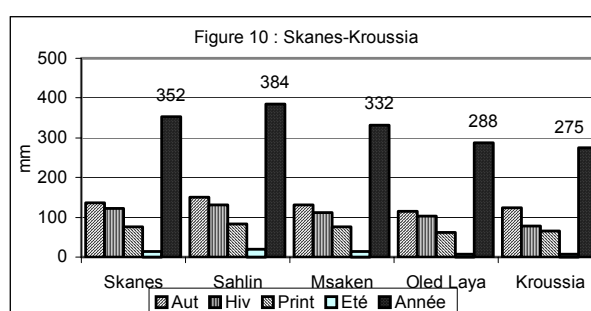
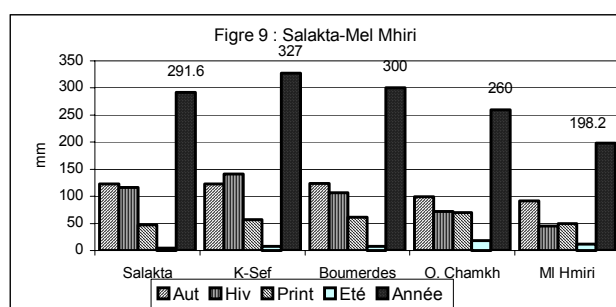
Enfin, nous avons vérifié l'existence d'un gradient continental Est-Ouest :

- d'abord, en intégrant les pluies observées pour l'ensemble des stations ;
- ensuite, en intégrant les pluies ramenées à une latitude de base (36°N) ;
- enfin, en procédant par tranches de latitude.

Au total, aucune forme de liaison claire ne s'est affirmée (R^2 toujours inférieur à 0,25). La meilleure corrélation est obtenue par une forme de liaison « polynomiale ». Elle suggère une variation presque sinueuse de la pluviosité de la côte vers l'intérieur, d'où l'absence d'un seul gradient régulier et continu des pluies.

2.4. Les transects pluviométriques Est-Ouest

Ils semblent plus appropriés pour rendre compte des nuances pluviométriques qui s'interposent de la côte vers l'intérieur, sur le même parallèle.



3. Résultats

Ces transects permettent de déduire que :

- en moyenne annuelle, une bande arrosée apparaît en bordure du littoral, en retrait de 3 à 5 km au nord du sahel et 10 à 15 km plus au sud ;
- la position de cette dorsale sublittorale est loin d'être fixe. Elle varie d'une année à l'autre et entre les saisons ;
- cette bande se rapproche de la côte en hiver et s'éloigne en été [Figure 3, 4, 5 et 6] ;
- plus loin vers l'intérieur du Sahel, au niveau de la ligne des piémonts, s'esquisse une deuxième dorsale pluviométrique subcontinentale [Gammar A.M., 1995]. Elle est plus marquée en saison chaude que froide.

Conclusion

La région du Sahel se caractérise par la juxtaposition de nuances pluviométriques locales et méso-régionales. L'unité pluviométrique de la région se matérialise par sa continuité nord-sud, mais aussi par l'existence d'une dorsale pluviométrique sublittorale, qui se double d'une deuxième subcontinentale, qui s'interposent en allant du littoral vers l'intérieur. Des indicateurs concrets plutôt qu'une analyse statistique systémique permettent de les appréhender.

Références bibliographiques

- ESCOURROU G. (1981) : Climat et environnement : les facteurs locaux du climat. Edit Masson, 182 p.
- GAMMAR A.M. (1995) : Notes sur les particularités physiques de la Tunisie orientale. In : La Tunisie Orientale, Publ. Faculté des Lettres de Sousse
- GAMMAR A.M. (1993) : Les gradients de la pluviométrie moyenne annuelle : Application aux régions semi-arides orientales de la Tunisie. RTG n° 23-24, pp. 87-102
- BEN BOUBAKER (1989) : Les gradients pluviométriques au niveau du 36^{ème} parallèle nord en Tunisie. Mémoire de CAR Fac. S.H.S. Tunis, 92 p.
- JGUIRIM H. (1992) : La pluviométrie dans le Sahel. Mémoire de CAR Fac. S.H.S. Tunis, 110 p.

RECHERCHE DES TENDANCES SAISONNIERES DES JOURS « SKIABLES » DANS LES ALPES ITALIENNES

*A.Biancotti **, *M.Fazzini *** et *S.Fratianni **

* Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino, Italie
e-mail :simona.fratianni@unito.it

** Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara ; Ferrara, Italie
e-mail : fzzmsm@unife.it

Résumé : Durant les vingt dernières saisons d'hiver, dans la chaîne alpine, les précipitations neigeuses sont devenues moins abondantes, surtout aux altitudes inférieures à 1500 mètres, en particulier à la fin de l'automne et au début de l'hiver, à cause du probable « global warming »; par conséquent la saison de ski tend à commencer plus tard en provoquant plusieurs problèmes au secteur touristique. Le but du travail est de vérifier si la tendance relative à cette baisse des chutes de neige peut être compensée par la production de neige artificielle de bonne qualité, à toutes les altitudes et dans les diverses régions climatiques de la chaîne alpine.

Mots clés : alpes italiennes, tendances saisonnières, domaines skiabiles, neige naturelle et artificielle

Abstract: During the last two decades, in the Italian Alps snowfall decreased in November and December, mainly below the elevation of 1500 m a.s.l, because of the global warming. As a consequence the skiing season tends to start later causing several problems to the tourist sector. The aim of this presentation is to verify if this snowfall decrease can be compensated by good quality artificial snow at every altitudes the in various climatic regions of the Alpine range.

Key words: Italian Alps, seasonal trends , ski ability area, natural and artificial snow

Introduction

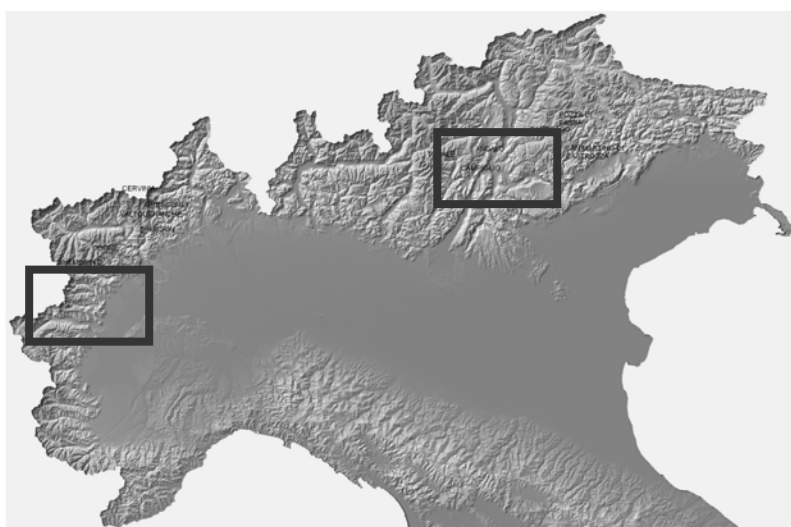
À partir des années 1980, les régions "alpines" italiennes ont développé un réseau de stations de mesure nivo-meteorologique suffisant, dans l'objectif d'une approche statistique des données nivologiques. Cette étude est bornée à la recherche du « signal » du phénomène neige dans deux différentes régions touristiques des alpes italiennes et des conséquences de ses variations sur le tourisme hivernal. De l'expérience sur les pistes de ski, on a établi que, en général, si le manteau neigeux est inférieur à 30 centimètres, les tracés de ski alpin et nordique ne peuvent pas être retravaillés par les engins d'entretiens mais aussi que cette limite est toujours plus fréquente dans les domaines skiabiles.

1. Caractérisation nivométrique

Les apports de neige et les régimes nivométriques des domaines skiabiles sont déterminés par les diverses positions géographiques (plus ou moins à l'intérieur de la chaîne alpine) et par les distances relatives à la mer Tyrrhénienne et Adriatique (fig.1). En général, à la même altitude, les reliefs des Alpes occidentales sont légèrement plus enneigés que ceux des Alpes orientales à cause de la persistante exposition aux flux méditerranéens très humides (Fazzini, 2001, Fazzini *et al.* 2003). Au contraire, les températures moyennes plus basses dans les Alpes orientales y favorisent la persistance de la neige au sol. A 1000 mètres d'altitude, les cumuls saisonniers moyens atteignent, selon l'exposition, de 140-200 cm dans la Vallée d'Aoste à 100-170 cm dans les Dolomites. A 2000 mètres, les cumuls arrivent à 450-620 cm et 380-500 cm. Toutefois la persistance de la neige au sol est plus uniforme.

Elle est comprise entre 70 e 90 jours à 1000 mètres et 190-220 jours à 2000 mètres. La répartition mensuelle des précipitations neigeuses est très complexe et dépend en particulier de l'altitude et de la « continentalité thermique » des deux différentes régions. Le régime « uni modal » avec un maximum en janvier ou en février est caractéristique des stations situées dans les vallées au dessous de 1700 mètres dans les Alpes occidentales et de 1300 mètres dans les Dolomites; (Biancotti *et al*, 1998, Fratianni & Motta 2002, Fazzini *et al* 2003). Les régimes équilibrés ou à maximum étalé - où les trois mois de décembre, janvier et février reçoivent des chutes de neiges sensiblement équivalentes - se trouvent à des altitudes de 1600-2000 mètres dans les vallées internes des Alpes occidentales - et à 1200-1500 mètres dans les Dolomites. Plus en altitude le régime devient « bi modal », avec deux maximums en février et avril, tandis que au dessus de 1800-2300 mètres on trouve encore un seul maximum au printemps.

Fig. 1 : Collocation géographique des deux aires d'étude



2. Méthodologie de travail

On a donc cherché à « quantifier » le nombre de jours « skiabiles » à différentes altitudes dans quelques importants domaines skiabiles italiens, en l'occurrence ceux de Cervinia – Valtournanche - au « Monterosa ski » (Vallée d'Aoste et Piedmont) jusqu'à ceux formidables des Dolomites – la « Sella Ronda » - le plus grand domaine skiable du monde (Trentino, Alto Adige et Veneto) - ou le « Skirama du Brenta » de Madonna di Campiglio (Trentino - fig.1 et tab.1)

Si l'épaisseur de la neige est inférieure à 30 cm, on peut produire de la neige artificielle seulement si la température de l'air est inférieure à -3°C . De l'interaction entre le nombre de jours avec skiabilité « naturelle » et « artificielle », on peut quantifier la durée et la qualité de la saison de ski. On a donc considéré les données de 12 stations à relevé manuel, assez bien distribuées dans les Alpes de la Vallée d'Aoste et du Trentino, situées à des altitudes comprises entre 1000 et 2600 mètres, pour les périodes allant de décembre à avril et relatives aux dernières vingt saisons. Après la validation des données on a calculé les tendances mensuelles relatives au *cumul* de la neige fraîche H_n et à la persistance de la neige au sol P_n . On a ensuite considéré les paramètres les plus importants pour la pratique des sports d'hiver, c'est à dire l'épaisseur du manteau neigeux au sol H_s et la température minimale de la nuit (T_{min}). A ce point là, on a calculé les jours avec neige naturelle suffisante pour la pratique du ski et les jours où la température permet la fabrication de la neige artificielle si le manteau neigeux n'est pas suffisant, afin de chercher à comprendre si le déficit des précipitations neigeuses peut être récupéré grâce à l'enneigement artificiel.

Tab.1 : Caractéristiques des stations meteo-nivometriques et des domaines skiabiles

DOMAINE SKIABLE	ALT.STAT.	ALT. DOMAINE	KM PISTES	CHAINE
RHEMES N.D	1735	1700-2415	30	GRAN PARADIS
GRESSONEY	1635	1400-2900	170	MONTE ROSA
BRUSSON	1300	1300-2300	30	MONTE ROSA
VALTOURNANCHE	2515	1400-3030	250	CERVINO
CERVINIA	2490	2000-3835	250	CERVINO
ANDALO-PAGANELLA	1000	1000-2126	50	PAGANELLA
CAMPIGLIO-SKIRAMA	1635	1525-2542	145	DOLOMITI DI BRENTA
PAMPEAGO – LATEMAR	1775	1020-2476	60	DOLOMITES OCCIDENTALES
POZZA-VAL DI FASSA	1330	1300-2585	300	DOLOMITES CENTRALES
S.MARTINO-P.SO ROLLE	1460	1385-2383	80	DOLOMITES MERIDIONALES
TONALE-PRESENA	1860	1220-3035	80	ADAMELLO

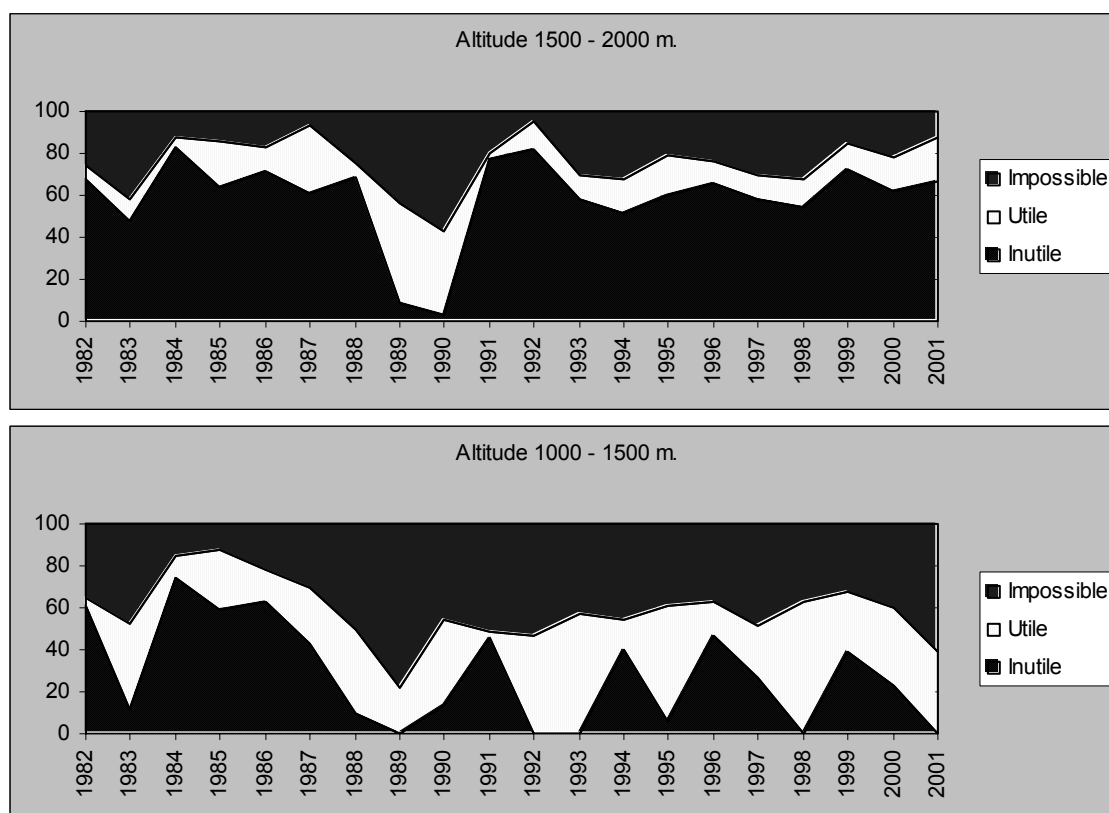
3. Discussion

L'analyse des tendances saisonnières montre une baisse considérable des précipitations neigeuses surtout dans les stations des Alpes occidentales, au-dessous de 1900 mètres (de 8 à 12 cm contre les 2-5 cm des Dolomites), - surtout à partir de la saison 1996-97 – tandis que au-dessus de 2000 mètres les cumuls restent presque constants; dans la Vallée d'Aoste, en général, les baisses sont plus abondantes en décembre et en avril tandis que ce mois-ci, sur les Dolomites, on peut observer parfois une faible hausse. Au regard des données de décembre, il est évident qu'à partir de 1995, à cause de l'augmentation des situations synoptiques très fréquemment anticycloniques, on a enregistré une absence de neige quasi totale aux altitudes les plus élevées où l'enneigement artificiel a été absolument utile pour 40 – 60 % des jours, selon l'altitude et la région climatique. En moyenne, aux altitudes comprises entre 1000 et 1500 mètres, le pourcentage des jours skiabiles s'est élevé de 10 à 40% et de 40 à 65% entre 1500 et 2000 mètres, tandis qu'il reste presque constant au-dessus de 2000 mètres d'altitude (de 79 à 83%) en janvier et en février, l'enneigement artificiel permet d'élever les jours skiabiles de 40 à 90% jusqu'à 1500 mètres tandis que au-dessus de cette altitude on passe de 87 à 94% ; à partir de la mi-mars la neige artificielle permet la prolongation de la saison de ski d'une manière plus évidente au-dessus de 1700 mètres où, durant le jour, on assiste à une fusion parfois rapide mais durant la nuit les températures négatives permettent la fabrication de neige de bonne qualité.

Conclusion

De l'examen de la fig. 2, il semble évident que, grâce à l'enneigement artificiel, aux altitudes inférieures de 1500 mètres, dans plusieurs saisons (1989-90, 1992-93, 1996-97) on peut réussir à sauver partiellement l'activité touristique, tandis que entre 1500 et 2000 mètres, on peut arriver à une totale skiabilité durant toute la saison. Enfin, même si on perd en moyenne 1,8 jour par saison, on récupère 1,24 jour grâce à l'enneigement artificiel.

Fig.2 : Répartition moyenne des jours skiabiles à différentes altitudes (en %)



Références bibliographiques

BIANCOTTI A., CAROTTA M., MOTTA L., TURRONI E. 1998 : *Le precipitazioni nevose sulle alpi piemontesi. Studi climatologici in Piemonte*, 2, Regione Piemonte, 80 pp.

FAZZINI M., 2001: *Analisi statistica delle caratteristiche pluvio-nivometriche dei rilievi del Triveneto anche tramite la modellizzazione topo-geografica del territorio esaminato* Dottorato di Ricerca ined. Università degli Studi di Perugia.

FRATIANNI S., MOTTA L. (2002) : *Etude de la nivometrie et de ses implications touristiques dans la vallée d'Aoste*. Actes XVI Colloque Association International de Climatologie, Besançon.

FAZZINI M., FRATIANNI S., GADDO M. (2003) : *Nivometrie dans le territoire du Trentino et ses implications touristique* in « Les relations climat-homme-climat » – XVI colloque de l'AIC - Varsovie 2003 - Dokumentacja geograficzna n°29., 77-81.

**INDICES AGRO-METEOROLOGIQUES
DANS QUELQUES VALLEES A GRANDE QUALITE ŒNOLOGIQUE
ET SUJETTES A INVERSION THERMIQUE**

C. Bisci *, M. Fazzini ** et G. Pambianchi *

*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Camerino, Italie
e-mail : carlo.bisci@unicam.it

** Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara, Italie
e-mail : fzzmsm@unife.it

Résumé : On a élaboré un système inédit et semi empirique pour évaluer la distribution spatiale des températures dans quelques vallées caractérisées par des phénomènes d'inversion thermique qui reviennent durant toute l'année. Cette méthode d'interpolation, basée sur l'utilisation des SIG - afin de gérer soit les données météorologiques, soit un modèle digitale du relief (DEM) -, a été testé sur l'aire de production du vin "Verdicchio de Matelica" (Italie centrale adriatique). On a produit des cartes digitalisées, pour diverses variables morphométriques et on a ensuite effectué diverses analyses statistiques afin de caractériser, pour chaque mois, des fonctions en mesure de déduire les valeurs climatiques par rapport à la morphologie. Enfin, on a calculé quelques indices climatiques utiles pour améliorer la production viticole.

Mots clé : Indices agro-meteorologiques, inversion thermique, DEM, analyse statistique

Abstract: We created a semi-empiric method to evaluate spatial distribution of temperature in valleys affected by thermal inversion phenomena. This interpolation system, based upon the use of GIS for the management of both meteorological data and DEMs, has been tested in the production area of the "Verdicchio di Matelica" wine (Adriatic side of Central Italy). We thus produced digital maps for several morph metric variables and carried out many statistical analyses to individuate, for each month, functions capable to infer climatic values as a function of morphology. Finally, we calculated climatic indexes useful to ameliorate wine production.

Keywords: Agro-meteorological indexes, thermal inversion, DEM, statistical analyses

1. Introduction

L'interpolation spatiale des données tirées des stations météorologiques est un grand problème à résoudre pour une description correcte du territoire et pour la création des cartes de distribution des indices agro-meteorologiques. Ces cartes deviennent fondamentales pour une planification optimale de l'emploi du sol. Ce problème est fortement ressenti dans des domaines des cultures de haute qualité, y compris les terroirs viticoles.

En outre, dans les vallées ou se passent très fréquemment des phénomènes d'inversion thermique, l'interpolation des données devient très compliquée, à cause du développement non linéaire des températures par rapport à l'orographie et à l'altitude. Pour améliorer les résultats de ces modèles, on a donc élaboré un système semi empirique afin d'évaluer la distribution spatiale des températures. Cette méthode d'interpolation, basée sur l'utilisation des cartes "raster" gérées avec des SIG, a été testée en l'air de production du "Verdicchio de Matelica" – Région Marche, Italie centrale adriatique (fig. 1).

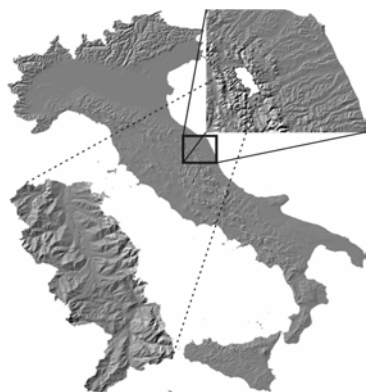


Fig. 1 : Ubication de l'aire d'étude

Cette aire est pour la plus part collinaire – avec des altitudes comprises entre 200 et 800 mètres – la géologie est caractérisée par des dépôt de trouble et de calcaires marneux ; les fond des vallées présentent plusieurs ordres des plaines alluviales.

	Jan	Fev	Mar	Avr	May	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	An	
Maximum	T niv. mer	9,6	10,9	13,9	17,9	22,3	26,9	30,0	29,6	25,6	20,3	15,1	10,6	19,4
	Exp Nord	-0,34	-0,20	-0,21	-0,27	-0,10	-0,44	-0,18	-0,34	-0,31	-0,15	-0,10	-0,20	-0,24
	Calc. Inv.	-0,25	-0,23	-0,15	0,04	0,03	0,26	0,20	0,39	0,24	-0,62	-0,32	-0,50	-0,07
	Matelica A	7,8	9,0	12,0	16,2	20,6	25,4	28,5	28,2	24,3	18,1	13,2	8,7	17,7
	Fabriano	7,5	8,8	12,0	16,2	20,5	25,3	28,5	28,5	24,0	18,3	13,2	8,6	17,6
	Rustano	7,3	8,6	11,5	15,4	20,0	24,2	27,6	26,9	23,4	18,2	13,0	8,6	17,1
	P. Sorifa	7,4	8,2	11,7	15,4	20,2	24,5	28,0	27,4	23,3	17,8	12,1	8,0	17,0
Camerino	5,1	6,3	9,6	14,1	18,4	23,2	26,4	25,7	21,3	15,5	10,8	6,4	15,2	
Moyenne	T niv. mer	6,1	7,2	9,4	13,0	17,3	21,5	24,2	23,9	20,6	16,1	11,5	7,4	6,9
	Exp Nord	-0,28	-0,20	-0,17	-0,28	-0,12	-0,41	-0,27	-0,28	-0,30	-0,15	-0,16	-0,27	-0,25
	Calc. Inv.	-0,98	-1,05	-0,85	-0,52	-0,91	-0,74	-0,94	-0,90	-0,82	-1,36	-0,94	-0,92	-0,98
	Matelica A	3,7	4,7	7,0	10,9	14,9	19,1	21,7	21,3	18,3	13,2	9,0	5,2	4,5
	Fabriano	3,8	4,6	7,4	11,2	15,0	19,3	21,9	21,9	18,3	13,4	9,3	5,2	4,5
	Rustano	4,0	5,1	7,3	10,8	15,2	19,0	21,9	21,5	18,4	14,1	9,4	5,5	4,9
	P. Sorifa	3,9	4,8	7,4	10,4	14,5	18,5	21,3	20,9	17,7	13,1	8,2	4,8	4,5
Camerino	2,9	3,8	6,6	10,6	14,7	19,1	21,9	21,5	17,8	12,7	8,5	4,3	3,7	
Minimal	T niv. mer	2,7	3,5	4,9	8,2	12,4	16,1	18,5	18,2	15,6	11,8	7,8	4,2	10,3
	Exp Nord	-0,23	-0,20	-0,13	-0,28	-0,15	-0,39	-0,36	-0,22	-0,29	-0,15	-0,23	-0,34	-0,2
	Calc. Inv.	-1,70	-1,87	-1,56	-1,08	-1,85	-1,75	-2,08	-2,19	-1,87	-2,10	-1,56	-1,35	-1,7
	Matelica A	-0,3	0,3	2,0	5,7	9,1	12,8	15,0	14,5	12,3	8,4	4,8	1,6	7,2
	Fabriano	0,0	0,4	2,8	6,2	9,5	13,3	15,2	15,3	12,6	8,5	5,3	1,7	7,6
	Rustano	0,8	1,5	3,1	6,1	10,4	13,7	16,3	16,0	13,4	9,9	5,8	2,3	8,3
	P. Sorifa	0,4	1,3	3,0	5,3	8,8	12,4	14,5	14,4	12,1	8,3	4,3	1,6	7,2
Camerino	0,7	1,2	3,5	7,0	10,9	15,0	17,4	17,3	14,3	9,8	6,2	2,2	8,8	

Tab. 1 : Valeurs thermométriques mensuels pour les cinq stations de l'aire : T niv. ; Mer : Température moyenne calculée au niveau de la mer ; Exp. nord : correction du modèle pour les versants nord ; Calc.inv. : correction du modèle pour les situations d'inversion thermique

2. Discussion

Les données ont été donc introduites dans une « banque des données » géoréférencée et traités par les SIG « Ilwis » 3.2 et « Arc Gis 8.3 ». Les courbes de niveau et les point cotés ont été desumés de la carte vectorielle à l'échelle 1:10.000. On a utilisé ces informations pour calculer un modèle digitale du relief (DEM avec pixel 10 x 10 m), à partir du quel on a calculé les cartes des pentes et des expositions Les données climatiques appartiennent à 12 stations pluviométriques et 5 thermométriques (tab. 1 e 2). Tout d'abord, on a estimé la distribution des précipitations pour chaque point, en utilisant des équations d'interpolation – fonctions des altitudes et des distances des lignes des partages des eaux -

tandis que pour les données thermométriques, en plus du gradient thermique verticale (BISCI et al., 1989), on a considéré l'effet de l'exposition, des pentes et surtout de l'inversion thermique dans les fonds des vallées. (tab 2). De ces "nouveaux" données climatiques, le modèle a calculé, d'une manière automatique, les cartes des principales indices agro-meteorologiques (fig.2).

Station	Elev	Jan	Fev	Mar	Avr	May	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	An
Camerino	664	108	119	85	93	85	65	47	45	102	118	128	120	1116
Camponoecchio	197	88	108	88	90	81	67	43	46	106	117	123	124	1081
Case Lentino	855	142	151	139	144	163	82	62	69	139	219	198	188	1696
Castelraimondo	307	86	101	79	92	95	62	49	60	90	113	113	104	1044
Fabriano	357	71	80	69	78	85	64	42	50	86	108	103	83	921
Matelica	354	71	100	68	100	80	63	42	50	101	102	104	107	988
Matelica ASSAM	325	82	95	69	89	82	55	43	67	94	111	117	108	1011
Pioraco	441	89	94	81	94	100	64	48	53	92	116	127	115	1072
Poggio Sorifa	552	90	108	94	106	109	76	43	56	106	139	147	116	1190
Rustano	415	90	106	84	122	95	77	55	43	98	106	113	84	1073
San Severino Marche	344	75	79	66	68	76	55	33	40	83	91	98	76	840
Sorti	716	125	146	123	135	111	90	50	56	120	157	170	152	1435

Tab. 2 : Valeurs en mm des précipitations moyennes mensuelles et annuelles

De la comparaison entre la carte des indices et la distribution des vignobles, on a produit une "carte de la vocation climatique" (fig. 2). Si on va superposer cette dernière carte avec celles de la vocation lithologique et orographique, on obtient une carte de la vocation globale qui représente une estimation de la propension à l'usage des vignobles pour chaque portion du territoire (BISCI et al., 2003).

Conclusions

L'introduction des paramètres morphométriques influence la distribution spatiale des caractéristiques du microclimat d'une aire : par conséquence, les cartes obtenues grâce au modèle proposé sont très différentes par rapport à celles conventionnelles (Biondi et al., 1995). Plus en particulier, l'effet de l'inversion thermique, qu'on peut quantifier de presque un degré (tab. 1), contribue d'une manière substantielle à l'exclusion des fonds des vallées des "terroirs" du "Verdicchio di Matelica".

Références

- Biondi E., Baldoni M.A., Talamonti M.C. (1995) – Il fitoclima delle Marche. Atti.Conv. "Salvaguardia e Gestione dei Beni Ambientali nelle Marche", Ancona, april 1991, 21-70.
- Bisci C., Fazzini M., Pambianchi G., Raponi M. (2003) – La vocazione ambientale del territorio della DOC del Verdicchio di Matelica (Marche). In: Binacotti A., Pambianchi G., Pioletti A.M. – Spaces, environments and landscapes of terroirs. I.A.G., World in Progress, B.E.M., Milano, 20-28.
- Bisci C., Cellini M., Farabollini P. & Pittori C. (1989) – Le gradient thermique vertical dans les Marches méridionales (Italie centrale). A.I.C., Act du Coll. de Pavia, II, 27-34.

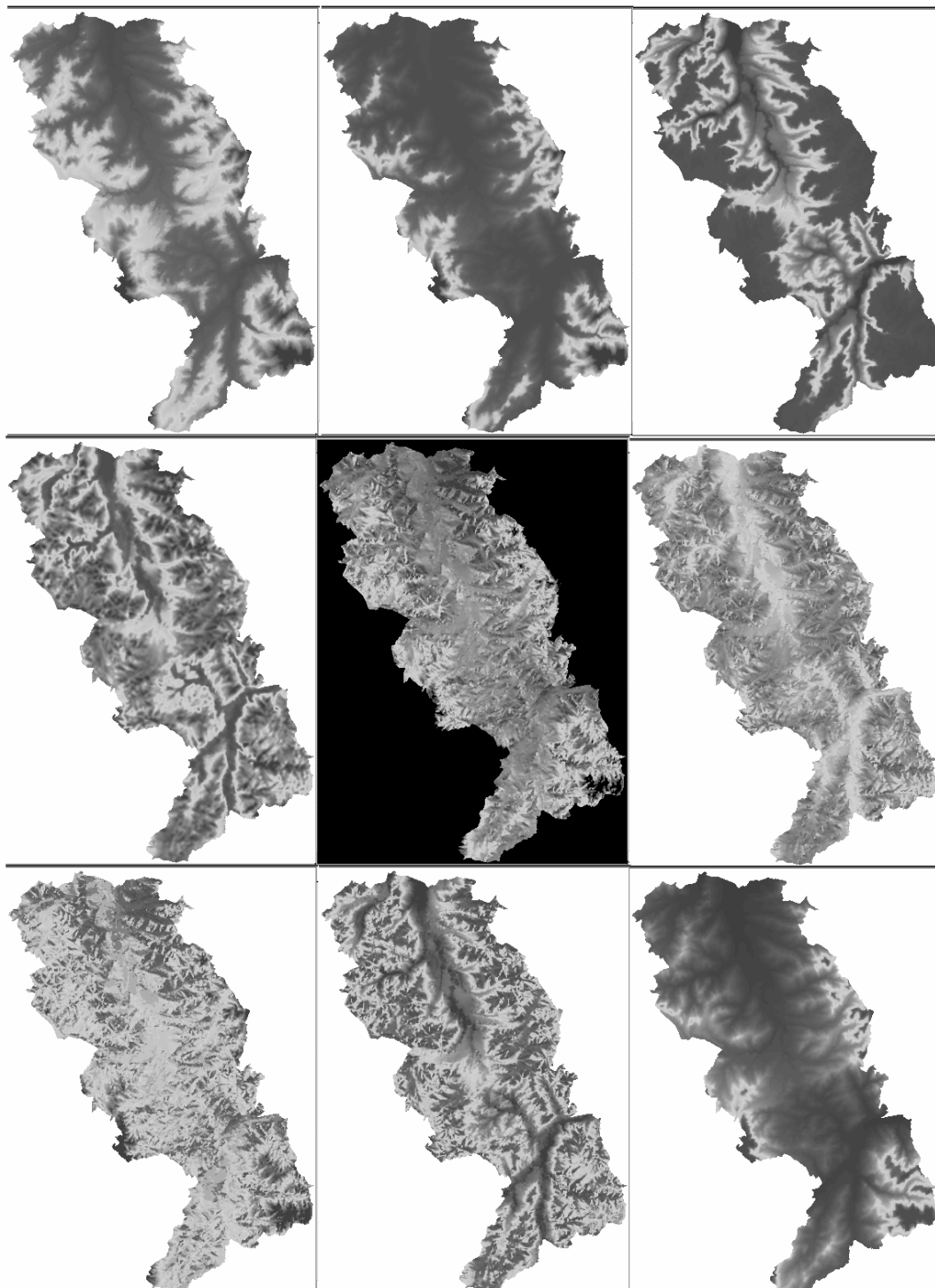


Fig.2 : Carte de la vocation climatique de l'aire du Verdicchio (au centre)

**MONITORAGE CLIMATIQUE D'UN ELEMENT MORPHOLOGIQUE :
« IL FUNGO » DE PIANA CRIXIA**

G. Brancucci et G. Paliaga

Dipartimento POLIS Université de Genes, Italie

e-mail : brancucci@arch.unige.it

Résumé : Dans cette communication nous présenterons les premières observations instrumentales couvrant la période 1 janvier - 31 mars 2004 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.

Mots clés : Climat, érosion, géosites

Abstract: In this paper we show the first monitoring results of the climatic weathering factors on a geosite, the Piana Crixia «Fungo» (Savona, Italy) during the period January 1 th – march 31 th 2004.

Key words: Climate, erosion, geosites

Introduction

L'effet du climat est unanimement reconnu par les géomorphologues comme élément déterminant dans l'évolution de la surface terrestre. En particulier, le climat conduit son action efficace grâce à l'action mécanique de météorisation ; cette action est d'origine thermique (thermoclastie et cryoclastie) ou se développe essentiellement grâce à l'action des eaux de pluie et de ruissellement. L'effet de fragmentation d'origine hydrique n'est pas négligeable. Cet effet, hydroclasite, est en particulier lié aux variations de volume des roches déterminées par la variation en teneur en eau ; ce phénomène n'est pas facilement mesurable sur l'élément étudié.

Excluant a priori l'action de la thermoclastie caractérisée par de fortes contraintes thermiques diurnes typiques des zones désertiques chaudes, notre attention s'est concentrée sur l'action des eaux de pluie, du vent, de la cryoclastie.

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. C'est une forme érosive remarquable qui mériterait d'être mise en valeur du point de vue pittoresque mais aussi d'être protégée contre l'action des agents d'érosion qui l'ont créée et qui provoqueront aussi sa destruction. Le « fungo » est une pyramide en terre de 11 m de hauteur, qui se distingue des autres pyramides d'érosion en terre par sa différenciation lithologique entre le pied du champignon et le chapeau. Le pied, de forme conique tronquée, est composé d'un conglomérat continental appartenant à la Formation de Molare (Oligocène), tandis que le chapeau est un rocher en serpentinite d'un diamètre de 5 m environ et d'un poids évalué à plus de 100 T. Le Département POLIS de l'Université de Gênes a été chargé d'un projet de sauvegarde de cette forme d'érosion surtout pour la compréhension des mécanismes de dégradation physique dus au climat. Dans ce but, une station automatique pour l'enregistrement des variables météoclimatiques (fig. 1) a été mise en place.



Fig. 1 : Le « Fungo » de Piana Crixia avec, à droite, la station météoclimatique

1. L'instrumentation et les données observées

Nous avons installé près du « fungo » (coordonnée $8^{\circ} 18' 40''$ long W $44^{\circ} 28' 34''$ Lat N se référant au méridien de Roma et à 289 m s.n.m., exposition du versant Sud) une station météoclimatique Weaterlink Vantage Pro. Le relevé des données, toutes les demi-heures, pour un total de 4368 observations, est effectué à distance en utilisant un téléphone cellulaire relié à un ordinateur et à un modem. Comme nous l'avons déjà brièvement dit, l'hypothèse initiale est que les paramètres les plus « remarquables » dans la dégradation sont déterminés par l'action des eaux de pluie, des eaux de ruissellement, des cycles de gel /dégel et, en second lieu par l'action du vent.

2.1. L'action du vent

La vitesse la plus grande du vent dans la période d'observation a été de 3,6 m/s. Il est évident que l'influence du vent peut être considérée nulle. Cela dérive principalement du fait que le « champignon » étant tout à côté du versant, il résulte protégé par celui-ci.

2.2 L'action de la pluie et de l'humidité

Les trois premiers mois de 2004 ne résultent pas avoir été particulièrement pluvieux ; le maximum s'est vérifié en février avec 55,80 mm et la plus grande intensité enregistrée a été de 6,81 mm en une demi-heure. Pour pouvoir donc prendre en considération, avec une certaine crédibilité, le paramètre précipitation afin d'arriver à une évaluation de l'impact érosif, il sera nécessaire d'attendre les mois automnaux qui en Ligurie résultent être statistiquement les plus pluvieux.



Il faut ajouter que, en ce qui concerne l'impact érosif de la pluie, des projets d'interventions de la part du génie végétal, dans le but de réduire la pente du versant pour minimiser l'action érosive des eaux, sont prévus. Toutefois, même en l'absence de l'action directe des précipitations, il semblerait que la contribution fournie par une humidité relative d'une valeur moyenne égale à 80,9%, résulte importante. Cette humidité, adhérant aux parois du géosite, en présence de températures basses, congèle contribuant à l'action dégradante du cryoclastisme décrite au paragraphe suivant (fig. 2).

Fig. 2 : Gel dans la roque constituant la base du géosite

2.3 L'action de la cryoclastie

La cryoclastie, est l'alternance du gel et du dégel de l'eau remplissant les vides des roches, des principales actions mécaniques de la météorisation. Le passage de l'eau de l'état liquide à l'état solide

est accompagné d'une augmentation de volume de 10% environ. La solidification de l'eau soumet donc les parois des vides à des pressions qui, selon quelques auteurs, peuvent varier de l'ordre de 15 Kg/cm² (Coque, 2002) à un maximum de quelques milliers de Kg/cm² (Accordi, Lupia Palmieri, 1993) ; la somme des effets gel/dégel répétés dans le temps amène le détachement d'éclats ou de grains de la masse qui constitue le géosite. Il faut enfin noter que plus la température est inférieure à 0°C, majeure est l'intensité de l'effort même par la glace, puis que, du point de vue physique (tab. 1), la dilatation de la glace, varie en fonction de la température; les données expérimentales (www.lsbu.ac.uk/water) montrent que dans le passage d'une température de 0°C à une température de -10 °C, le coefficient a une variation de 300%. On peut considérer donc que la pression à l'intérieur des vides suit cet accroissement.

Tab. 1

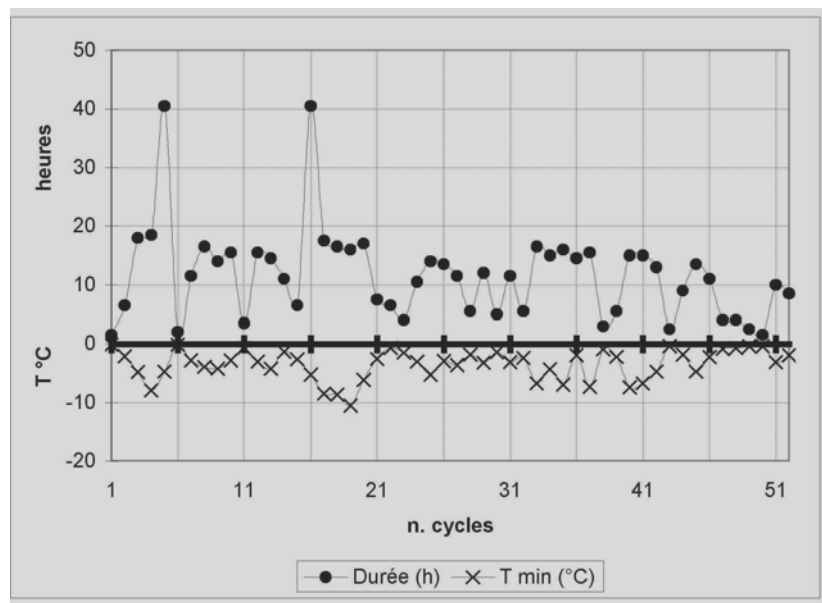
Coefficient de dilatation cubique β	β (273 K)	β (263 K)
$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$	$-0.068 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$	$-0.292 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Malgré la brièveté de la période d'observation, il apparaît évident que l'action de la cryoclastie est la plus active : pendant 91 jours nous avons observé 52 cycles.

L'observation du graphique de la figure 3, permet de faire les considérations suivantes :

- les cycles, généralement, ne dépassent pas la durée de 24 h (11.6h en moyenne) sauf dans le cas de deux épisodes de plus de 40h ;
- les températures minimales atteignent en moyenne -3.7°C et arrivent à des températures extrêmes de -10.5° ;
- il y a souvent des baisses de température subites qui peuvent produire des « shocks » plutôt importants au matériel rocheux et qui peuvent produire des ruptures du matériel lui-même (Klemm et Klemm, 1997).

Fig. 3 : Cycles de gel /dégel et température minimale des cycles (01.01.2004-31.03.2004)



Conclusions

Il paraît risqué de tirer des conclusions définitives sur une période de temps d'observation aussi brève, surtout parce que, durant cette période, il a effectivement peu plu, faisant ainsi défaut un paramètre important dans le cadre morphogénétique du site.

D'après ce qui a été observé, il semble toutefois possible de souligner que l'action importante de la température avec ses fréquentes pointes au-dessous de 0°C en présence d'un pourcentage d'humidité élevé, constitue, même en l'absence de précipitations, une menace considérable pour l'intégrité du géosite. Si cette observation se révélait être réaliste, les difficultés d'intervention pour la sauvegarde de l'élément augmenteraient en ce sens que, comme nous l'avons déjà dit, même en réduisant, grâce aux interventions prévues, la possibilité d'érosion du pied de la structure, il résulterait plus difficile d'empêcher la dégradation directe de la structure elle-même précisément par les cycles gel/dégel. En effet, négligeant en une première évaluation approximative la possibilité d'une dégradation de la masse serpentiniqne constituant le chapeau, les dangers d'écroulement les plus élevés dérivent de la dégradation du pied conglomératique puisque, comme cela a été souligné précédemment, la possibilité de l'alternance des cycles de gélifraction, en additionnant les effets, pourrait accélérer l'effondrement de la structure.

Références bibliographiques

Accordi B., Lupia Palmieri E., Parotto M. : Il globo terrestre e la sua evoluzione. Zanichelli Bologna, p. 406

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 G., Paliaga G. (2003) : Calcul de l'ensoleillement des façades architecturales: résultat préliminaires. Publ. de l'Ass. Int. de Climatologie, Vol. 15, pp. 150-156

Coque R. (2002) : Géomorphologie. Armand Colin Ed., 504 p.

Issel A. (1892) : Liguria Geologica e preistorica. 816 pp.

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, V. 32, n. 6, pp. 509-512

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

Pope A.G., Meierding T.C., Paradise T.R. (2002) Geomorphology's role in the study of watering of cultural stone. Geomorphology, 47, pp. 211-225

Site internet pour la structure de l'eau: www.lsbu.ac.uk/water/

**UNE NOUVELLE APPROCHE DANS L'ETUDE DES MICROCLIMATS ET
PHENOMENES ATMOSPHERIQUES DE LA MONTAGNE ALPINE :
L'ANALYSE DES DONNEES METEOROLOGIQUES ISSUES DES INSTALLATIONS
D'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL DES STATIONS DE SPORTS D'HIVER**

C. Chaix

Laboratoire Environnement, DYnamiques et TERRitoires de la Montagne (EDYTEM)
CNRS – FRE 2641, Université de Savoie
e-mail : chaix-ch@wanadoo.fr

Résumé : Grâce aux sondes météorologiques des installations d'enneigement artificiel des stations de sports d'hiver, il est possible aujourd'hui d'obtenir une banque de données très importante – température, humidité relative, vitesse et direction du vent – pour de nombreux espaces géographiques en régions de montagne, à des échelles fines. L'utilisation de ces données est alors multiple, et nous verrons au travers de cet article quel est le potentiel de recherche de ces sites de mesures avec trois exemples de stations de ski. Puis, une étude préliminaire sur les gradients thermiques et l'origine des vents sur un versant des Menuires complétera l'approche climatologique de cette nouvelle banque de données.

Mots-clés : Topoclimatologie, montagne, nouvelles données, gradient thermique, vent, brises.

Abstract: Nowadays, thanks to the meteorological sondes of the ski resort artificial snow coverage plants, it is possible to build a huge database (temperature, relative humidity, wind speed and direction) for a great number of microscale geographical spaces in mountain area. Those data have multiple uses, and we will see through this article which is the potential of research for these measurement's site with three exemples of ski resorts. Then a preliminary study on the heat gradients and wind's origin will complete climatological approach of this new database

Keywords: Topoclimatology, mountain, new data, thermal gradient, wind, breeze.

Introduction

Il existe une réelle carence dans le domaine des connaissances en climatologie et en météorologie de la montagne, les caractéristiques climatiques des régions montagneuses étant limitées par le manque d'observations dans le temps et dans l'espace. Le faible nombre de postes de mesures existant en zone d'altitude - l'instrumentation restant difficile et onéreuse - ne permet pas d'approcher une réalité fort diverse, tant les particularités des facteurs locaux sont déterminantes en montagne. Pourtant, il existe des mesures qui ont été et sont encore enregistrées, à l'échelle du versant ou du fond de vallée, mais celles-ci n'ont jamais été exploitées par les chercheurs du fait de leur « confidentialité » : Ce sont les mesures des sondes des installations d'enneigement artificiel des stations de sports d'hiver. Cet article présente, plus particulièrement pour la station des Menuires en Savoie, un portrait du réseau de sondes installées et de leur modalité de fonctionnement. Cet exemple nous permettra de mieux cerner les capacités à la fois quantitatives et qualitatives de ces réseaux dans le milieu montagnard, et de percevoir la formidable banque de données exploitable à l'échelle des Alpes. Pour présenter cette manne d'informations climatologiques, nous allons effectuer une analyse non exhaustive des gradients thermiques et des directions des vents sur le site des Menuires. On va alors pouvoir distinguer de manière synthétique quatre systèmes récurrents dans les milieux de moyenne montagne.

1. Le potentiel d'acquisition de données des stations de sports d'hiver

1.1 Caractéristiques du réseau de sondes.

Depuis plus d'une quinzaine d'année, les stations de sports d'hiver s'équipent en canons à neige afin d'assurer aux usagers un enneigement régulier au cours de la saison et de palier au manque de neige en moyenne montagne. Pour optimiser la production de neige de culture, les fabricants ont dû intégrer au système une composante d'automatisme : la mise en place d'un réseau de mesures sur l'ensemble du secteur à enneiger, de façon à connaître les conditions « externes » de production (la température humide) (SEATM, 1996). Les sondes sont disposées le long ou à côté des pistes, séparées entre elles d'une distance de 50 à 100m. L'environnement immédiat des sondes peut alors varier avec le site : présence de bâtis, d'aménagements touristiques, forêts, à l'air libre. Il existe ainsi assez de sondes pour effectuer bon nombre d'études, tant les parcs sont fournis (75 sondes aux Menuires). Le pas de temps de mesure est aussi remarquable, température et humidité relative sont mesurées toutes les heures, direction et vitesse du vent toutes les 16 minutes. Ces mesures ne sont pas toutefois directes, mais correspondent à une moyenne effectuée par des filtres numériques sur une courte durée (20mn pour les T°/HR, 5mn pour le vent), avec une marge d'erreur n'excédant pas 0,5° pour les températures. Les sondes sont des PT100 qui fonctionnent à sous abri antiradiation solaire au bout d'une perche de 3m de hauteur. Pour les anémomètres, on dispose d'un système Young 04101L avec une bonne précision des directions mesurées. Le transfert des données dans des tableurs est alors aisé mais fastidieux.

1.2 Un exemple : la station des Menuires.

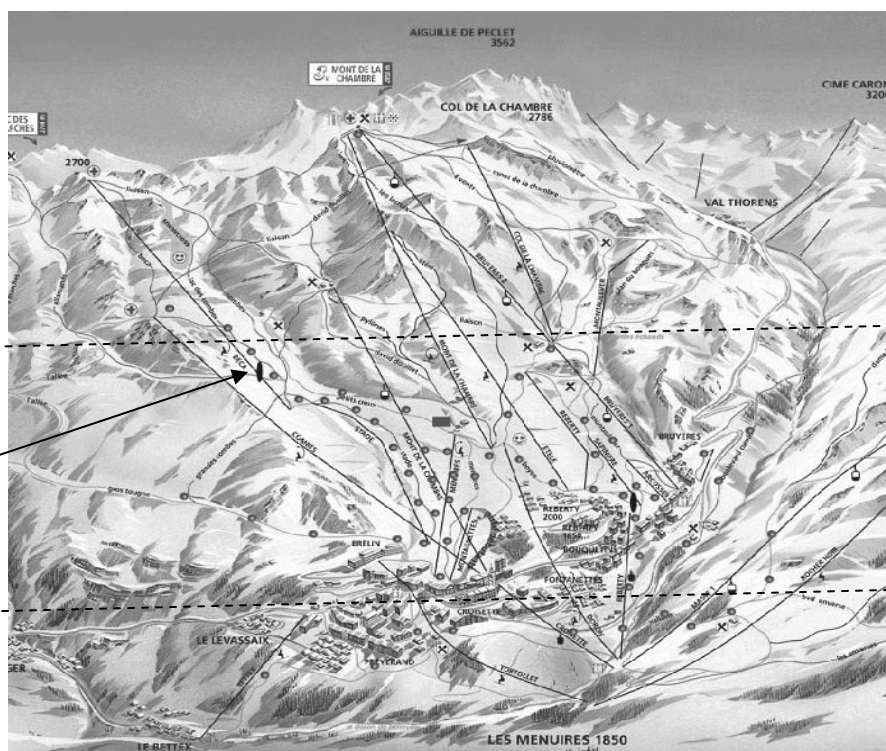
Fig. 1 : Position des sondes sur le site des Menuires

- Sondes

2350m

Anémomètre

1800m



Outre la station des Menuires, notre étude (première année de thèse) s'étend sur deux autres sites, à Valloire et Aussois (vallée de la Maurienne, en Savoie). Nous disposons ainsi de plusieurs espaces géographiques, avec des versants orientés dans toutes les directions majeures et des fonds de vallée variés. Aux Menuires, on avait en l'an 2000 53 sondes, disposées entre 1675 m et 2420 m d'altitude, dont 36 sur le versant ouest, 12 en fond de vallée et 5 sur le versant est (fig. 1).

2. L'évolution des variables climatiques locales mesurées lors d'un changement de types de temps

2.1 Le gradient thermique

Il fut intéressant de mesurer la valeur moyenne du gradient thermique sur le versant ouest des Menuires avec un très grand nombre de mesures en hiver (environ 700000 sur quatre hivers). Le résultat est assez « attendu », puisqu'on obtient $-0.49^{\circ}/100m$. Evidemment, plus on diminue le pas de temps de mesure, plus on peut observer les variations du gradient en fonction des facteurs locaux et ponctuels. Ainsi, il peut varier de $+1^{\circ}/100m$ en situation d'inversion (maximum observé) à $-1^{\circ}/100m$ en quelques heures. Nous allons d'ailleurs nous intéresser à l'arrivée d'un front neigeux la semaine du 26 janvier 1999, qui provoqua sur les Alpes de fortes chutes de neige (BLANCHET, 2003). Ce régime de NW va perturber les valeurs du gradient thermique sur le versant où l'atmosphère va devenir très instable. Nous pouvons observer la variation de ce gradient dès le 26 janvier et son changement de tendance :

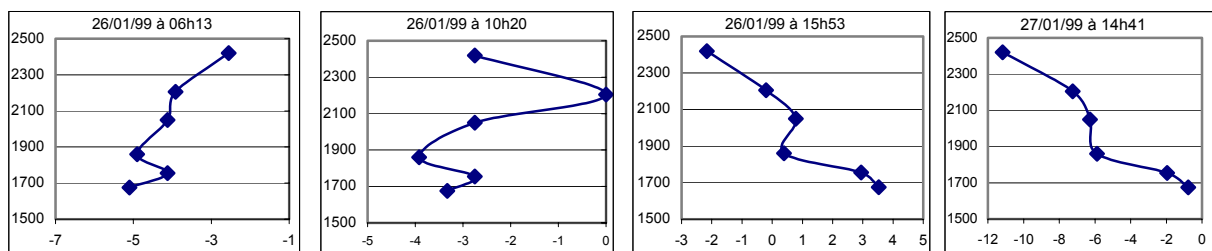


Fig. 2 : Evolution des températures en fonction de l'altitude aux Menuires lors de l'arrivée d'un front neigeux. On observe le réchauffement du fond de vallée, ce qui « casse » l'inversion, puis un refroidissement général du site.

2.2 Les relations entre les variables climatiques à différentes échelles.

Comparons les valeurs et les variations de ces gradients avec différents paramètres climatiques mesurés sur le terrain : le vent (2270m), l'humidité relative (2050m) et les températures à 2420m et 1675m. On observe bien la transition brises thermiques (ENE) et vents synoptiques (N, NW) (fig.3).

Dates (1999)	25/1	25/1	26/1	26/1	26/1	27/1	27/1	28/1	28/1
Heures	06h19	14h40	06h13	10h20	15h53	03h23	14h41	05h01	14h11
Gradient de T° en °/100m	-0,12	-0,25	0,27	-0,23	-0,69	-0,7	-1,2	-0,86	-0,82
T° à 2420m	-2,75	6,25	-2,55	-2,75	-2,15	-11,35	-11,2	-12,2	-5,9
T° à 1675m	-2,15	11,2	-5,1	-3,33	3,5	-6,1	-0,8	-5,1	1,2
Hum. Rel. en % à 2050m	47	46	60	65	74	76	71	87	88
Direction du vent en PC	ENE	E	ENE	E	SSE	NNE	N	NE	NNW
vitesse du vent en km/h	7,2	4,2	9,5	10,3	8,2	5,4	17	2,4	21,7

Fig. 3 : Evolution de certains paramètres climatiques lors de l'arrivée d'un front neigeux aux Menuires. Calculs effectués avec six sondes représentatives (2420, 2205, 2050, 1860, 1755, et 1675m)

On se rend bien compte que les conditions synoptiques influencent fortement l'évolution des paramètres locaux, et qu'il existe une dynamique propre dans cette relation d'échelles. Certaines de ces interactions sont observables dans un tableau de synthèse (fig.4), tout en sachant qu'il n'intègre pas les variations dues à l'exposition et à la présence de foehn, par exemple, et leurs rétroactions sur le climat local. Il ne concerne d'ailleurs que le micro/topoclimat du versant étudié. On observe curieusement l'absence de brises d'aval sur sa partie haute, ce qui montre que certains vallons de montagne ont des phénomènes propres et qu'ils peuvent échapper rapidement aux influences de l'échelle supérieure de la vallée. La transition entre la brise d'amont (ENE) et le vent de nord-ouest s'effectue par un balayage des directions par le sud puis l'ouest, traduisant probablement un effet d'aspiration dans la vallée avant l'arrivée de la perturbation.

Fig. 4 : Synthèse des relations simples entre différents paramètres climatiques sur un versant de montagne (les Menuires).

	Dépression	Anticyclone
Jour	GF ; HF ; VS	Gm ; Hf ; Ba
Nuit	Gm ; HF ; VS/Ba	Gi ; Hf ; Ba

Légende : GF : gradients thermiques fort (0.7°/100m) ; Gm : gradients moyens (-0.2°/100m) ; Gi : gradients inversés (+0.3°/100m) ; HF : Humidité relative forte (80%) ; Hf : humidité faible (30%) ; VS : vents synoptiques ; Ba : brise d'amont.

Conclusion

L'objectif de cet article était surtout de présenter les potentialités des réseaux de sondes des stations de sports d'hiver, et de montrer que grâce à des installations touristiques, des zones réputées difficile « d'étude » se retrouvent bien instrumentées. Il sera donc intéressant de déterminer dans des recherches plus précises le rôle des variables locales et de tous les phénomènes que l'on peut rencontrer en montagne, afin de mieux cerner la climatologie spécifique des versants et les interactions avec les échelles régionales et synoptiques. Enfin, des applications multiples de ces études à échelles fines (en milieu de montagne) peuvent découler, comme l'aide à la production de neige de culture, le suivi du manteau nival, la prévention des avalanches, et la mise au point d'un modèle de prévision météorologique locale à court terme est envisageable.

Références bibliographiques

- BARRY, R.G. (1981) Mountain Weather and climate, Methuen, London, 313 pages
- BLANCHET, A. (2003) Neige et avalanche dans les Alpes françaises en Janvier-Février 1999, publication de l'AIC, vol.15, pp. 164-170.
- DOUGUEDROIT, A., SAINTIGNON de M.F. (1984) Les gradients de températures en montagne, Revue de Géographie Alpine, tome LXXII, pp. 224-231.
- GUYOT, G. (1999) Climatologie de l'environnement, Dunod, 2e édition, Paris, 525 pages.
- SEATM, (1996) Neige de culture, guide d'aide à la décision, AFIT, 121 pages.
- THIELLET, J.J. (1997) La météo de montagne, Edition du Seuil, CAF, 188 pages.

VENTS FORTS ET SUBMERSIONS DE TEMPETE EN MANCHE ORIENTALE : ANALYSE METEO MARINE SUR LA PERIODE HISTORIQUE RECENTE

*S. Costa*¹, *O. Cantat*¹, *P.A. Pirazzoli*², *M Lemaître*¹ et *D. Delahaye*¹

¹ Géophen UMR-CNRS LETG 6554, UFR de Géographie
Université de Caen Basse-Normandie,
e-mail : stephane.costa4@libertysurf.fr

² Laboratoire de Géographie Physique « Pierre Birot » UMR-CNRS 8591
e-mail : paolo.pirazzoli@cnsr-bellevue.fr

Introduction

En raison de la concentration des activités et des populations sur la frange côtière, la prévision et la prévention du risque constituent un enjeu économique fondamental. De par son ouverture au flux d'ouest perturbés, ainsi que ses caractéristiques morphologiques et altimétriques, les côtes basses de la Manche Orientale revêtent un intérêt tout particulier pour l'analyse du risque naturel, et notamment d'inondation par la mer (Gires et Caspar, 1985 ; Caspar, 1988 ; Lamb, 1991 ; Caspar et Poullain, 1996 ; Costa, 1997 ; Héquette et Vasseur, 1998 ; Galli, Hontarrède, 2001). Cette vulnérabilité, qui a toujours affecté le secteur d'étude, devient pourtant préoccupante pour les décideurs et les populations concernés en raison d'une réitération grandissante de ces phénomènes au cours des quarante dernières années. Ce travail, réalisé dans le cadre du programme Européen « Beaches at Risk » vise à repérer, sur la période historique récente, une éventuelle évolution de la fréquence et/ou de l'intensité de ces événements météo-marins paroxysmaux, ainsi que leurs caractéristiques à des fins prévisionnelles.

1. L'analyse des chroniques de vent sur l'ensemble de la Manche : une interprétation difficile

L'analyse statistique a été effectuée à partir des séries de données de Météo-France issues des stations de mesures se trouvant en Manche (direction et force du vent, et de la pression en surface) (fig. 1).

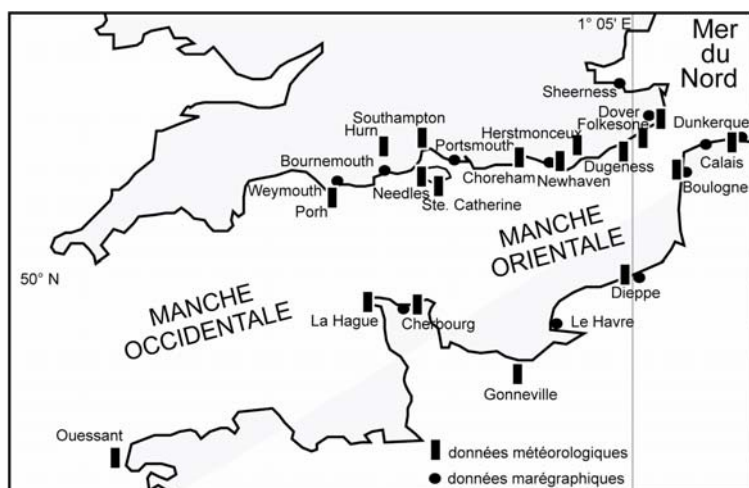
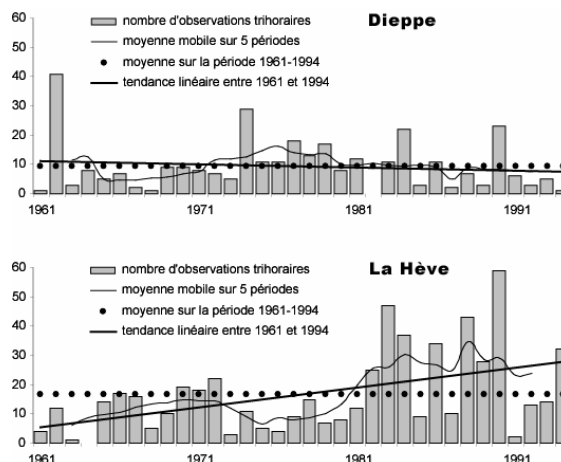
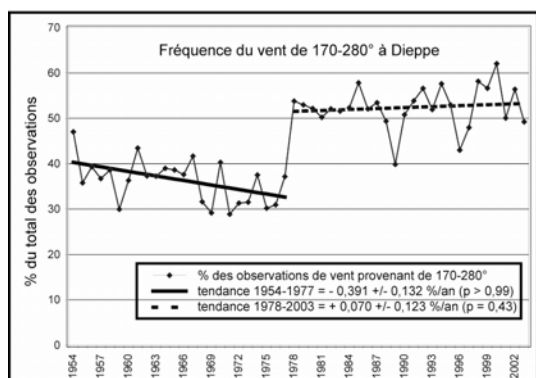


Fig. 1 : Secteur d'étude et principales stations marégraphiques et météorologiques utilisées.

Au même titre que certaines études réalisées sur d'autres parties de la Manche (Costa, 1997 ; Bouligand et Tabeaud, 1998 ; Bouligand et Pirazzoli, 1999 ; Regnaud et Lemasson, 1997 ; Pirazzoli, 2000 ; Pirazzoli et al., in press), ce travail a pour objectif de mettre en évidence d'éventuelles évolutions de la fréquence ou de l'intensité de ces

phénomènes météo-marins. L'analyse des données sémaphoriques fait apparaître des tendances évolutives qui peuvent être variables d'une station à l'autre, résultant de problèmes de matériel, de normalisation des sites, ou encore d'homogénéisation des séries de données (fig. 2). Il convient donc d'être très prudent à l'égard de cette banque de données, qui, en l'absence de corrections, ne semble pas pouvoir rendre compte, avec précision, et sur des pas de temps pluri-décennaux, d'éventuelles évolutions des conditions anémométriques.

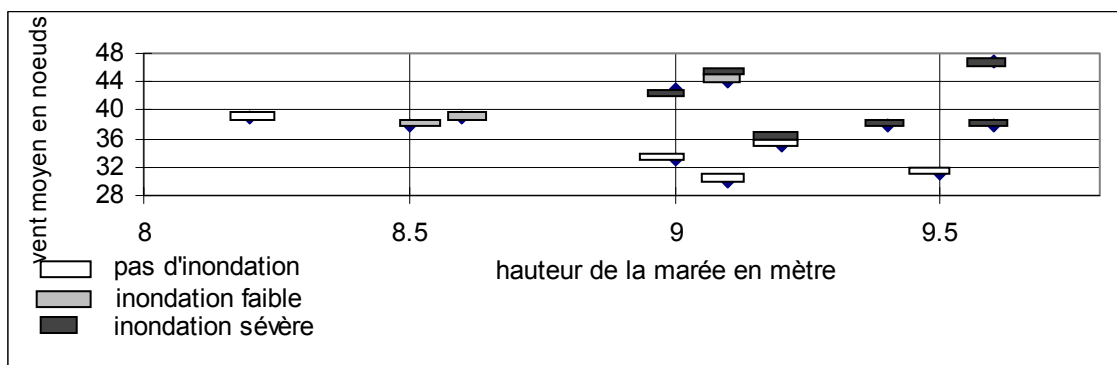
Fig. 2 : Fréquence des vents trihoraires de secteur 170 à 180° à Dieppe entre 1954 et 2003 (A) ; Evolution du nombre d'observations du vent trihoraire > ou = 17 m/s (Dieppe et la Hève), toutes forces confondues (B)



2. Le recensement des événements générateurs de dommages

Ce travail a consisté également à établir l'inventaire, de 1960 à 2003, des événements météo-marins ayant généré des inondations par la mer sévères. Outre l'identification de leur récurrence, ce recensement permet aussi de définir les caractéristiques météorologiques (force et direction du vent) et marégraphiques (hauteur) de ces événements et, par conséquent, de proposer un système d'annonce des inondations de tempête pour chaque site sensible haut-normand (fig. 3).

Fig. 3 : Détermination des seuils de hauteur de marée et de vitesse de vent au-delà desquels il y a risque de submersion de tempête (exemple de Fécamp)

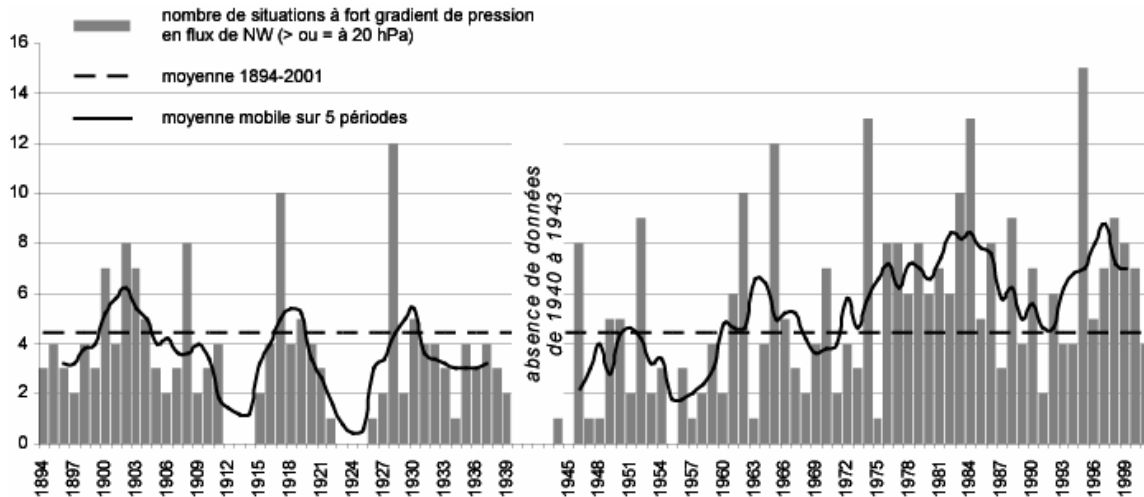


La figure 3 montre également que pour des conditions météo-marégraphiques similaires, il a été observé des inondations par la mer sévères ou aucun débordement. Ce résultat indique qu'un troisième facteur, au moins, participe à l'apparition de submersion, à savoir, les caractéristiques morpho-sédimentaires des plages.

En raison de la fiabilité limitée des séries chronologiques des vents enregistrés sur les quarante dernières années, l'inventaire des inondations par la mer a aussi été utilisé pour déterminer, à petite échelle (sur l'ensemble de la Manche et une partie de la Mer du Nord), l'aspect météorologique fondamental de ces événements générateurs de dommages. Cette analyse a été menée à partir de documents plus fiables pour ce type de démarche, à savoir, les cartes synoptiques journalières des champs de pression de surface. L'aspect fondamental correspond à un fort gradient de pression en flux de NO (< ou = à 20 hPa entre la Pointe du Raz et la ville de Cromer dans le Norfolk). La fréquence de cette situation météorologique ne montre pas de tendance significative sur les 107 dernières années

(fig. 4). En revanche, quelques oscillations pluriannuelles, plus ou moins acycliques, s'individualisent nettement (la période 1970-1990 est remarquable à ce titre), faisant plus appel à la variabilité climatique qu'à une quelconque variation. L'importante réitération des submersions de tempête sévères observées entre 1970 et 1990 est bien évidemment liée à ces situations paroxysmales. Toutefois, à ce facteur météorologique s'est ajouté le phénomène astronomique appelé « Saros » (périodicité de 18,61 ans, et optimum apparu au milieu des années 1980), qui a augmenté statistiquement la chance d'observer la conjonction d'une pleine mer de vive eau et d'un fort vent d'afflux.

Fig. 4 : Evolution annuelle de la fréquence des situations à fort gradient de pression en flux de NO (> ou = à 20 hPa) entre 1884 et 2001.



3. Relations entre les submersions de tempête et la frontologie

Il est communément admis que les submersions de tempête résultent d'une surcote (induite par un fort vent d'afflux et une faible pression barométrique), en phase avec une pleine mer de vive eau. Pour rendre compte précisément de cette conjonction, il convient d'analyser de façon dynamique, et à divers niveaux scalaires, les relations qui peuvent exister entre l'apparition des d'inondation par la mer et certains facteurs *a priori* déterminant, à savoir : (1) la position des grands centres d'action, (2) la trajectoire et la vitesse de déplacement des dépressions et (3) des perturbations, (4) la position du front froid au moment du débordement. S'agissant des trois premiers facteurs, les résultats sont sans surprise puisque lors des submersions sévères nous observons deux types de situation synoptique :

- la première correspond, pour près d'un tiers des cas, à la circulation rapide d'ouest en est, à la hauteur de la Manche, d'une jeune dépression qui s'accompagne de vents de NO, à l'arrière immédiat du minimum barométrique, donc en position de traîne.
- la seconde situation représente près des deux tiers des cas, et correspond à la pénétration en Mer du Nord d'une dépression atlantique de plus haute latitude, se dirigeant vers le Danemark ou les Pays Bas. Un resserrement des isobares en Manche axés NO-SE génère de forts vents de NO qui persistent tant que la dépression ne s'éloigne pas ou ne se comble pas.

Dans 62 % des cas de submersion, le passage du front froid (induisant pourtant une hausse importante de la pression atmosphérique, mais un renforcement du vent et un passage de l'Ouest au Nord-Ouest) s'effectue lors de la pleine mer. Pour les cas restant (38 %), il semble que se soient les conditions anémométriques antérieures (au moins 10 jours) qui expliquent l'apparition des inondations par la mer sévères. En effet, durant cette période, des vents moyens à forts ont été observés, induisant un amaigrissement des plages. Le passage successif de perturbations actives a agi de façon cumulative, abaissant le profil de plage, facilitant l'inondation par la mer à un moment où toutes les conditions atmosphériques et marégraphiques précédemment définies ne sont pas nécessairement remplies.

Conclusion

L'étude des submersions, dites de tempête, en Manche orientale, et notamment du littoral haut normand, a permis de déterminer, d'une part, les conditions anémométriques, barométriques et marégraphiques au-delà desquelles il y a débordement et, d'autre part, que la fréquence de ces conditions n'a pas connu de tendance évolutive significative au cours des cent dernières années. En revanche, quelques oscillations pluriannuelles, plus ou moins acycliques, s'individualisent nettement, faisant plus appel à la variabilité climatique, inhérente à nos latitudes, qu'à une quelconque variation.

La définition des seuils anémométriques et marégraphiques au-delà desquels il y a submersion est intéressante mais elle doit être couplée à une analyse faisant appel à diverses échelles de temps (de la submersion, jusqu'à 10 jours la précédant) et d'espace (de la position des centres d'action, au suivi de la position du front froid ou de la surcote par rapport à l'onde de marée). Sans cette démarche, il est difficile de comprendre les situations durant lesquelles aucun débordement n'est observé, alors que les seuils sont atteints, ou les phasages sont réalisés. En effet, un troisième facteur, dépendant en parti des conditions météo-marines, détermine la fréquence et l'ampleur de la submersion, à savoir le budget sédimentaire des plages.

Par ailleurs, l'analyse des surcotes en Manche orientale (induites par de forts vents d'afflux et de basses pressions) montre que ces dernières sont fréquentes et peuvent atteindre une amplitude de 2 mètres. Mais, par chance, leur phasage avec une pleine mer de vive eau est rare, puisque depuis 1960, cette conjonction catastrophique pour les populations côtières a été observée 16 fois (et ce, pour des surcotes rarement supérieures à 1 m) alors que ces phénomènes ($<$ ou $=$ 1 m) ont été enregistrés plus de 150 fois sur la même période.

Remerciements : Nous tenons à remercier Martine Tabeaud et Rémi Caspar pour l'aide apportée dans le recensement des forts gradients de pression en flux de NO.

Références

- BOULIGAND R., TABEAUD M., 1998 : Cent ans de surcotes à Brest, *Met.Mar.* 180 (1998).
- BOULIGAND R., PIRAZZOLI P.A., 1999 : Les décotes et les surcotes marines à Brest. Etude statistique et évolution. *Océanologica Acta*. Vol. 22, n° 2, pp.153-166.
- CASPAR R., 1988 : Marée de tempêtes sur le littoral de Haute-Normandie, 22 janvier 1988. *Met. Mar.* 141 (1998).
- CASPAR R., POUILLAIN H., 1996 : Coup de vent de nord-est sur les côtes normandes. Etude de la situation des 19 et 20 février 1996. *Met.Mar.* 172 (1996).
- COSTA S., 1997 : *Dynamique littorale et risques naturels : L'impact des aménagements, des variations du niveau marin et des modifications climatiques entre la Baie de Seine et la Baie de Somme*. Thèse de doctorat, Université de Paris I, 376 p.
- GALLI F.L., HONTARREDE M., 2001 : Surcote et marée de tempête, *Met. Mar.* 190 (2001).
- GIRES O., CASPAR R., 1985 ; Coup de vent et marée de tempête, novembre 1984 ; *Met. Mar.* 127 (1985).
- HÉQUETTE A., VASSEUR B., 1998 : Storm surges and erosion coastal dunes between 1957 and 1988 near Dunkerque (France), Southwestern North sea. *Conf. Coastal and Estuarine Environments*, Geological Society, London, 9-10 novembre 1998, programme and abstracts.
- LAMB H., 1991 : *Historic storms of the North sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LEMASSON L., REGNAULD H., 1997 : Evolution trentenaire des vents littoraux sur le Grand Ouest français. *Norois*, 44 (175), 417-431.
- PIRAZZOLI P.A., 2000 : Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France. *Oceanologica Acta* 23, Vol. 23, n° 6, pp. 643-661.
- PIRAZZOLI P.A., REGNAULD H., LEMASSON L., in press : Changes in storminess and surges in western France during the last century. *Marine Geology*.

**ANALYSE RYTHMIQUE DES TYPES DE TEMPS :
UNE APPROCHE CLIMATIQUE A ECHELLE TEMPORELLE FINE**

M. Danni-Oliveira et F. Mendonça

UFPR/Laboclima - C. Politécnico– J. Américas, Brésil.

e-mail : inesmdo@terra.com.br

Résumé : Les études du climat utilisent, en general, les moyennes des données météorologiques. Cependant, elles ne sont pas suffisantes pour l'analyse de phénomènes isolés. L'Analyse Rithmic de types de temps, basée sur les données quotidiennes, rend l'approche dynamique et détaillée possible.

Mots-cléf : temps – types – rythmicité – analyse

Abstract: The climatic studies use to works with the mean meteorological parameters. Therefore, it isn't enough to developing analysis about isolated and occasional climatic phenomenon. The Rithmic Analysis of the weather types, focused on the daily data, makes it possible.

Key-words: weather - types – rithmic - analysis.

Introduction

L'emploi des moyennes de données météorologiques pour caractériser l'atmosphère des lieux, recourrant dans les études de climatologie, présente une série de limites :

- 1) elles transforment ce que le système naturel a de plus dynamique – l'atmosphère – en quelque chose de statique et "figé";
- 2) la réduction statistique des données qui traduisent en une seule valeur les situations climatiques, qu'elles soient exceptionnelles ou non, simplifie la réalité ;
- 3) elles ne mettent pas en évidence les épisodes extrêmes, ni les "naturals hazards".

Depuis la fin des années 1990, on observe une augmentation de la fréquence et de l'intensité d'épisodes critiques du point de vue climatique, comme les vagues de chaleur, de froid et les tempêtes de neige en Europe et aux États-Unis, les inondations sur presque tous les continents, qui font de nombreuses victimes et provoquent de graves dégâts matériels. L'étude fondée sur les moyennes climatiques pour des irrégularités climatiques comme celles-ci, qui se manifestent à une échelle temporelle limitée, ne prend pas en compte les occurrences extrêmes ou calamiteuses qui affectent profondément tant l'environnement naturel que la société.

Dans le but d'étudier les épisodes climatiques intenses qui, bien que de courte durée, sont de grande importance pour l'environnement et pour l'homme, le géographe brésilien Carlos Augusto Figueredo Monteiro a proposé dans les années 1960-1970 une méthodologie d'analyse climatique appelée : Analyse Rythmique des Types de Temps.

La proposition présentée par Monteiro (1971) permet de visualiser la variation de l'élément climatique analysé en termes de valeurs réelles atteintes, ainsi que d'accompagner son évolution temporelle et génétique, de manière à individualiser ses impacts sur la surface terrestre.

Ce travail a pour objectif de présenter la technique d'Analyse Rythmique comme une possible approche dynamique des événements épisodiques et de leurs répercussions dans l'espace géographique, de manière à contribuer à la compréhension de problèmes liés à l'environnement, à la qualité de la vie et aux activités humaines en générale.

1. La méthodologie d'Analyse Rythmique

La méthodologie d'Analyse Rythmique se base sur trois grands principes. Un premier se réfère à la notion de rythme climatique, "expression des états atmosphériques", qui concerne tant les événements habituels que les "variations et les imprévus qui provoquent des altérations de différents degrés et atteignent mêmes des niveaux extrêmes" (Monteiro, 1971, p. 4). Un deuxième concerne la notion de régime des éléments climatiques qui montrent, par le rythme, les variations annuelles exprimées dans leur particularités mensuelles, sur plusieurs années successives. Et un dernier principe qui cherche à comprendre les événements climatiques habituels et exceptionnels (ceux-ci très souvent pris comme règle vu leur recurrences) dans leurs inter-relations avec la surface terrestre et la société dans le cadre de leurs impacts et de la dynamique atmosphérique qu'ils provoquent (Monteiro, 1962, P. 41; 1971, p. 6).

L'échelle temporelle adoptée dans l'Analyse Rythmique est quotidienne, puisque la définition du rythme climatique "demande un découpage chronologique... des états atmosphériques... qui se produisent continuellement en unités bien plus petites". Ainsi, la définition des types de temps est élaborée à partir de la variation des éléments météorologiques représentés par des graphiques où les données sont quotidiennes et, si possible, discriminées aux heures officielles d'observation (GMT) – Monteiro (1963, p.172).

Ces graphiques disposés simultanément et synchroniquement permettent de comparer, de manière intégrée, la variation quotidienne/horaire de paramètres météorologiques tels que la pression, la température par heure, maximum et minimum, l'humidité relative, les précipitations, l'ensoleillement, la nébulosité, la vitesse et la direction du vent, la visibilité, entre autres, d'un lieu donné de la surface terrestre, ou même de plusieurs endroits d'une région.

Un suivi de l'évolution régionale quotidienne et par heure des centres d'action permet de compléter l'analyse locale, recourant à cette fin à des images satellites météorologiques, étant donné que les types de temps ainsi identifiés se succèdent selon des mécanismes de la circulation générale de l'atmosphère (Monteiro 1971, p.9). Par conséquent, bien que l'approche en termes spatiaux soit généralement local, pour connaître la genèse de la variation des éléments qui caractérisent les conditions climatiques locales et ainsi définissent les types de temps, il faut accompagner la dynamique des principaux systèmes d'action de l'atmosphère au niveau régional.

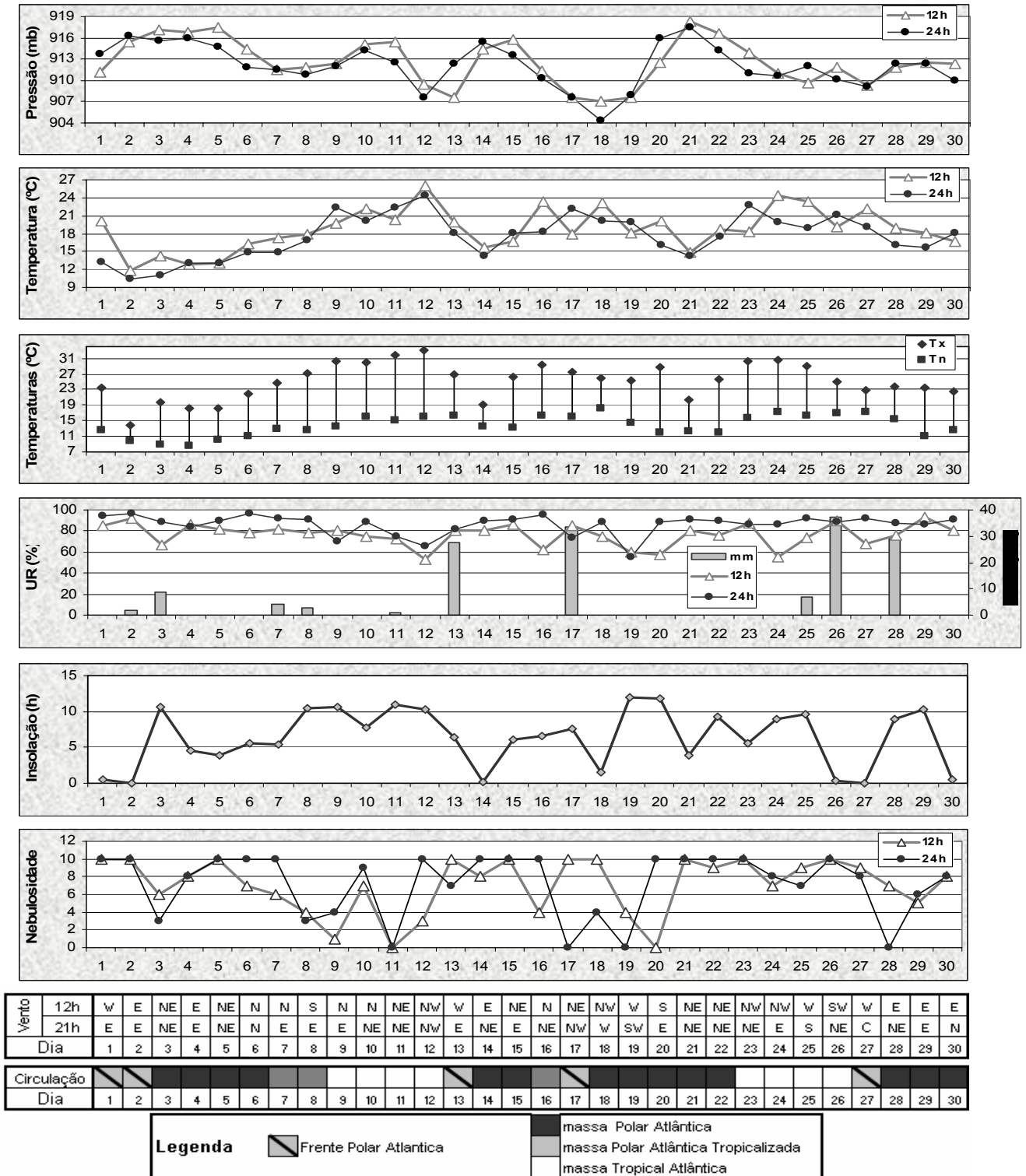
Ainsi, les types de temps sont identifiés et classés à une échelle quotidienne d'après leurs caractéristiques qualitatives et les aspects génétiques de formation. La définition quotidienne des types de temps et le suivi de leur succession normale sur plusieurs mois font percevoir le rythme climatique annuel et par conséquent les types de climats locaux.

2. Un exemple d'application de l'Analyse rythmique

La période analysée dans cette étude correspond à la fin du printemps dans la ville de Curitiba, État du Paraná, au Brésil (990m d'altitude et 25° S), autrement dit au mois de novembre 2003, pris comme exemple.

Le schéma 1 représente le Graphique de l'Analyse Rythmique incluant la définition de la circulation de surface à l'origine des types de temps mis en évidence les variations quotidiennes des éléments météorologiques disposés synchroniquement.

Schéma 1 : Analyse Rythmique pour la ville de Curitiba/Brésil en novembre/2003



Les types de temps observés au mois de novembre montrent l'alternance typique des systèmes atmosphériques qui prédomine à la fin du printemps à Curitiba, mettant en évidence certaines particularités propres de la dynamique atmosphérique.

La présence d'une succession régulière entre la masse Polaire Atlantique (PA), déjà affaiblie à cette époque-là de l'année à cause du fort ensoleillement local, et la masse Tropicale Atlantique, intercalée avec l'action du Front Polaire Atlantique (FPA) est normale. Cependant, le début du mois de novembre 2003 a pris des airs d'hiver à Curitiba à cause de l'incursion rapide d'une masse d'air Polaire Atlantique (PA) qui ne s'est modifiée qu'au bout de six jours (du 3 au 8, Schéma 1) en une masse Polaire Atlantique Tropicalisée (PAT), suivie d'une masse Tropicale Atlantique (TA) entre le 9 et le 12.

Ce qui a surtout prédominé entre le 13 et le 22 novembre, ce sont les passages rapides des fronts avec occurrence de pluies et l'action de la masse PA qui, malgré des pressions plus élevées que la première PA du mois, se sont révélées plus chauds. Les températures ont atteint de nouveaux niveaux plus élevés en présence de la TA entre le 23 et le 26. La fin du mois a été marquée par un nouveau passage de la FPA, puis de la PA déjà relativement tropicalisée.

Conclusions

L'utilisation de l'Analyse Rythmique pour la ville de Curitiba a montré que le mois de novembre de 2003 a été dominé par l'action de la masse d'air Polaire Atlantique (56% des jours), qui à des rythmes d'action différenciés a provoqué deux types distincts de temps – l'un plus froid au début du mois et les autres avec des températures plus douces. La masse TA n'est restée présente que 27% des jours, intervenant à deux reprises. Malgré cela ce qui a le plus marqué le rythme climatique de ce mois de novembre a été que l'intensité et la succession de l'action des masses PA et TA entre le 3 et le 12 ont été à l'origine des plus grands contrastes de température, faisant subir à la population des amplitudes thermiques de 24,2 °C, défavorables à la santé publique, en particulier des personnes âgées et des enfants.

A travers l'exemple de Curitiba, on a représenté l'application de l'Analyse Rythmique montrant l'importance de sa contribution dans les études de définition de la genèse des types de temps et du rythme de leur succession. Ainsi, cette technique permet de mettre en évidence les aspects qualitatifs des éléments qui caractérisent les types de temps, leurs occurrences, ainsi que la permanence et l'intensité des impacts qu'ils provoquent dans l'environnement, dans la qualité de la vie et dans les activités humaines en général.

Références bibliographiques

- MONTEIRO C. A. F. : Da necessidade de um caráter Genético à classificação climática. In: Revista Geográfica, Rio de Janeiro, Instituto Pan-americano de Geografia e História, nº57, tomo XXXI, 2º semestre, 1962, p. 29-43
- MONTEIRO C. A. F. : Sobre a análise geográfica de seqüências de cartas de tempo. In: Revista Geográfica, Rio de Janeiro, Instituto Pan-americano de Geografia e História, nº58, tomo XXXII, 1º semestre, 1963, p. 169-179
- MONTEIRO C. A. F. : Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. In: Climatologia, São Paulo, Instituto de Geografia/USP, nº 1, 1971, 21p.

LE POTENTIEL CLIMATO-TOURISTIQUE DU LITTORAL DE LA MER NOIRE DANS LA SAISON D'ETE

C. Dragota¹ et O. Gaceu²

¹Institut National de Météorologie et de Climatologie, Bucharest, Roumanie
e-mail : dragotacarmen@yahoo.co.uk

²Université d'Oradea, Dpt de Géographie, Tourisme et Aménagement du Territoire, Roumanie
e-mail : gaceu@yahoo.com

Abstract: The paper presents the climatic-tourist potential of the Romanian coast during the summer season, on the basis of daily data of meteorological observation from 1991 to 2000 of the stations Gura Portiței, Sf. Gheorghe, Constanța și Mangalia.

Key-words: climatic-tourist potential, coast, the Black Sea, method.

Introduction

Dans le domaine de la climatologie touristique on a élaboré assez d'indices et des méthodes pour souligner le potentiel climato-touristique d'une région. Dans ce papier on a utilisé la méthode de Besancenot *et al.* (1978) fondée sur une analyse climato-touristique plus concrète et véridique.










1. Le matériel et la méthode

Ce travail a été élaboré sur la base des dates journalières d'observation météorologique de la période 1991-2000 des stations de Gura Portitei, Sf. Gheorghe, Constanta et Mangalia.

Ces dates ont été traitées à l'aide de la méthode élaborée par J.P. Besancenot, J. Mounier et F. de Lavenne (1978), qui ont abouti à une classification qui met en évidence les combinassions journalières des principaux éléments climatiques qui influencent l'activité touristique. Pour les latitudes tempérées, pendant la saison d'été, les auteurs cités distinguent neuf types de temps (tab. 1).

Les sept premiers sont propres aux activités touristiques, soit parfaitement (du type 1), soit avec des réserves déterminées par un temps relativement mauvais (types 4 et 5), d'un certain degré de gêne (types 2, 3, 6, 7), et les deux derniers, 8 et 8 bis, indiquent le temps qui ne permet pas le déroulement des activités en plein air.

La distinction entre les types de temps s'est fait en fonction de cinq paramètres climatiques : la durée de l'ensoleillement (I), exprimée en heures ; la durée des précipitations entre 6 et 18 heures (D), exprimée en heures ; la température maximale de l'air (Tx), mesurée en °C; la vitesse du vent dans l'après-midi (V), mesurée en m/s ; la tension de vapeur d'eau pendant l'après-midi (U), exprimée en hPa.. En cas de lacunes dans la mesure des observations météorologiques, certains éléments peuvent être remplacés avec d'autres. Donc, le manque des observations sur la durée d'ensoleillement peut remplacer le manque des dates relatives au degré de la couverture du ciel avec des nuages dans l'après-midi, exprimé en huitième de ciel couvert, (Nb), et la quantité des précipitations tombée pendant la journée (P) peut remplacer le manque des dates concernant la durée des précipitations les cas où on n'a pas noté les heures du début et de la fin des épisodes pluvieux.

<p>TRÈS BEAU TEMPS ENSOLEILLÉ </p> <p>TYPE 1 $\left[\begin{array}{l} I \geq 9 \text{ h ou } Nb \leq 2/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ 25 \leq Tx < 33 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 8 \text{ m/s} \\ 4 < U < 25 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>	<p>TEMPS CHAUD ET LOURD </p> <p>soit TYPE 6 $\left[\begin{array}{l} I \geq 9 \text{ h ou } Nb \leq 2/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ Tx \geq 18 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 12 \text{ m/s} \\ 25 \leq U < 31,3 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p> <p>soit $\left[\begin{array}{l} I \geq 9 \text{ h ou } Nb \leq 2/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ Tx \geq 33 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 12 \text{ m/s} \\ U < 31,3 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>
<p>BEAU TEMPS ENSOLEILLÉ </p> <p>TYPE 2 $\left[\begin{array}{l} I \geq 9 \text{ h ou } Nb \leq 2/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ 18 < Tx < 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 8 \text{ m/s} \\ 4 < U < 25 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>	
<p>TEMPS FRAIS ENSOLEILLÉ en juin et septembre </p> <p>TYPE 3 $\left[\begin{array}{l} I \geq 9 \text{ h ou } Nb \leq 2/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ 16 \leq Tx < 18 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 8 \text{ m/s} \\ 4 < U < 25 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>	<p>BEAU TEMPS avec VENT FORT </p> <p>TYPE 7 $\left[\begin{array}{l} I \geq 9 \text{ h ou } Nb \leq 2/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ 18 \leq Tx < 33 \text{ }^\circ\text{C} \\ 8 \leq V < 12 \text{ m/s} \\ 4 < U < 25 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>
<p>BEAU TEMPS avec COUVERTURE NUAGEUSE PARTIELLE </p> <p>TYPE 4 $\left[\begin{array}{l} 3 \leq I < 9 \text{ h ou } 2 < Nb \leq 6/8 \\ D = 0 \text{ h ou } P = 0 \text{ mm} \\ 18 \leq Tx < 33 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 8 \text{ m/s} \\ 4 < U < 25 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>	<p>TEMPS DÉFAVORABLE </p> <p>TYPE 8 TOUS LES AUTRES TYPES DE TEMPS, à l'exception du type 8 bis</p>
<p>BEAU TEMPS avec BREF ÉPISODE PLUVIEUX </p> <p>TYPE 5 $\left[\begin{array}{l} I \geq 3 \text{ h ou } Nb \leq 6/8 \\ 0,1 \leq D < 1 \text{ h ou } 0,1 \leq P < 1 \text{ mm} \\ 18 \leq Tx < 33 \text{ }^\circ\text{C} \\ V < 8 \text{ m/s} \\ 4 < U < 25 \text{ hPa} \end{array} \right.$</p>	<p>TEMPS POURRI </p> <p>TYPE 8 bis $\left[\begin{array}{l} I < 3 \text{ h ou } Nb \geq 6/8 \\ D > 3 \text{ h ou } P > 5 \text{ mm} \end{array} \right.$</p>

Tab.1 : Les types de temps caractéristique à la zone tempérée pendant l'été (d'après Besancenot, 1990).

Ces dates peuvent être transposées sur un diagramme climatique étagé ayant différents types de temps caractéristiques à chaque décade, des plus favorables (à la base) jusqu'à celles qui empêchent le déroulement des activités touristiques (au sommet).

2. Résultats et discussions

Tout en appliquant la méthode présentée ci-dessus aux quatre stations météorologiques (Gura Portitei, Sf. Gheorghe, Constanta, Mangalia), situées sur la cote de la Mer Noire, on a obtenu les résultats suivants, soulignés dans la fig.1. De cette figure, il résulte que la plus grande fréquence décadaire est le temps très bien ensoleillé (type 1), idéal pour la plage et la baignade qui, pendant les mois de juillet et août, peut atteindre 35-58% à Gura Portitei, 24-52% à Sf. Gheorghe, 27-48% à Constanta et 10-33% à Mangalia. Dans le mois de juin, elle a une fréquence décadaire de 25-42% à Gura Portitei, 22-28% à Sf. Gheorghe, 24-34% à Constanta et 14-16% à Mangalia, et pendant le mois de septembre elle a la plus réduite fréquence décadaire 8-15% à Gura Portitei, 4-10% à Sf. Gheorghe, 7-18% à Constanta, 2-5% à Mangalia.

A la deuxième place se situe le beau temps ensoleillé (type 2). Celui-ci est favorable à la cure héliomarine mais il présente une petite gêne thermique; dans les mois de juillet-août il a une fréquence décadaire de 0-22% à Gura Portitei, 0-15% à Sf. Gheorghe, 2-18% à Constanta et 1-17% à Mangalia, mais il est plus poignant pendant les mois de juin et septembre quand il peut atteindre 18-43% à Gura Portitei, 15-36% à Sf. Gheorghe, 20-36% à Constanta et 8-31% à Mangalia.

En troisième position se situe le temps défavorable aux activités touristiques (type 8) rencontré, en général dans 11-35% des cas, avec un maximum pendant le mois de septembre quand il atteint 20-35% et même 43-54% à Sf. Gheorghe et Mangalia pendant la dernière décade de ce mois. Il suit le beau temps avec un ciel partiellement couvert (type 4) qui permet le déroulement de la cure héliomarine même si elle présente une gêne thermique ou néphique. On le rencontre à toutes les stations avec une fréquence décadaire plus basse en juillet-août, c'est-à-dire 6-22% à Gura Portitei, 2-12% à Sf. Gheorghe, 7-16% à Constanta, 5-23% à Mangalia et plus grande en juin et septembre, c'est-à-dire 13-23% à Gura Portitei, 5-18% à Sf. Gheorghe, 10-32% à Constanta et 12-33% à Mangalia.

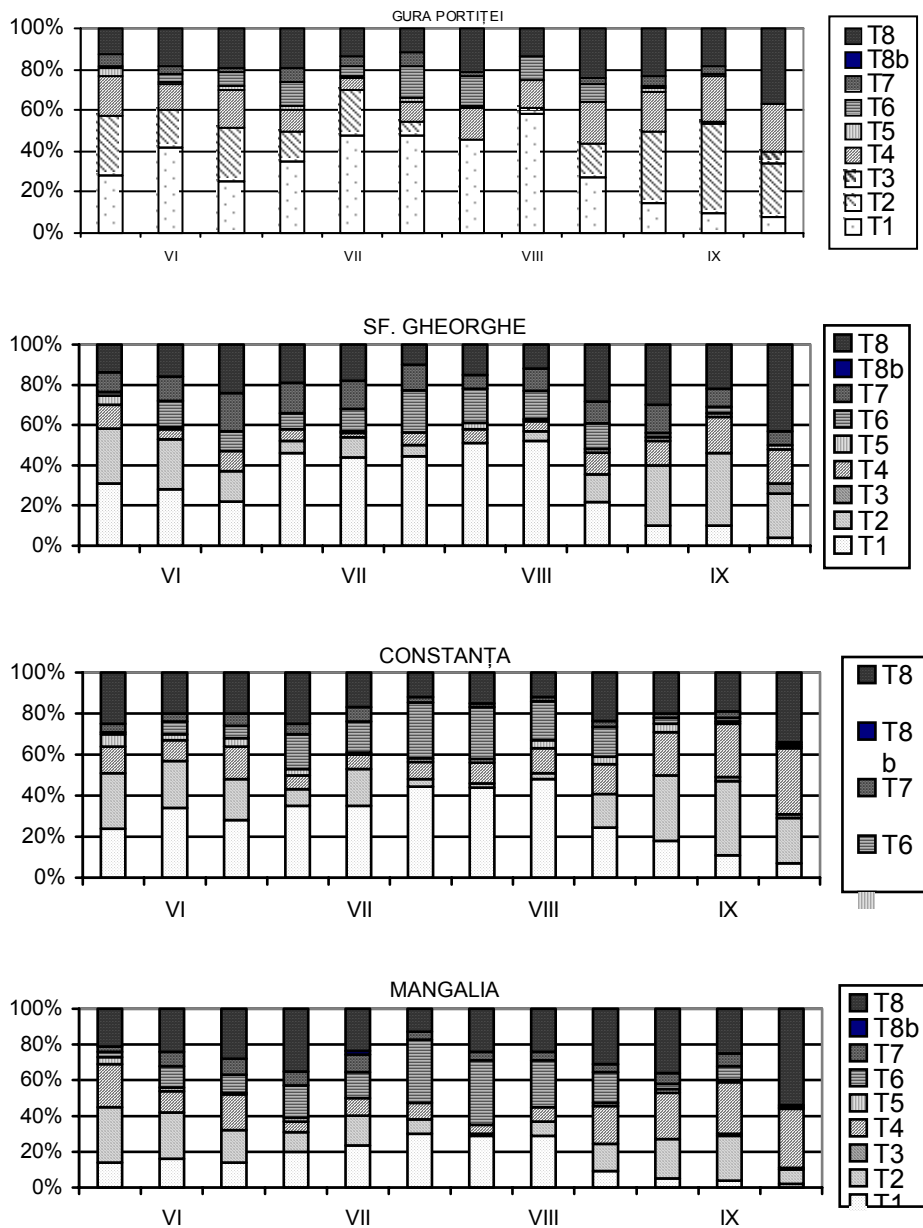


Fig.1 : Les types de temps caractéristiques au littoral roumain de la Mer Noire pendant la saison d'été

Le beau temps avec des courts épisodes pluvieux (du type 5) a, à toutes les stations et pendant tous les mois, une petite fréquence décadaire : 0-6%, versus le temps chaud et pesant (type 6) qui présente une fréquence décadaire plus élevée en juillet-août (5-17% à Gura Portitei, 8-23% à Sf. Gheorghe, 15-30% à Constanta, 15-39% à Mangalia) et plus basse en juin et septembre (0-7% à Gura Portitei, 0-10% à Sf. Gheorghe, 1-6% à Constanta et 0-12% à Mangalia).

Le beau temps avec un vent fort (du type 7) est plus fréquent à Sf. Gheorghe, 7-19%, et plus rarement aux autres stations 0-10% et a une répartition décadaire relativement uniforme pendant toute la saison d'été.

Enfin, les autres deux types de temps, c'est-à-dire le temps frais ensoleillé (type 3) et le temps humide et pluvieux (type 8 bis) présentent une fréquence négligeable sur la cote roumaine de la Mer Noire.

Conclusions

A la base de l'étude effectuée on détache les conclusions suivantes :

- le littoral roumain de la Mer Noire bénéficie d'un potentiel climato-touristique élevé mais qui descend du nord au sud, à la fois avec la réduction des superficies aquatiques (la Delta du Danube, les lacs de Golovita, Zmeica, Sinoe etc.). Ceci favorise la production des inversions thermiques et du temps serein, les plus favorables mois étant juillet et août, quand il y a prédominance du régime anticyclonique donné par l'Anticyclone des Açores ou par l'Anticyclone nord-africain, le beau temps ensoleillé atteint une fréquence jusqu'à 58% ;
- le mois de juin est plus propice au tourisme que le mois de septembre parce qu'il présente une fréquence décadaire du très beau temps ensoleillé de 14-22% (contre 2-15% pour le mois de septembre) ;
- la plus grande fréquence du très beau temps en juillet-août est observé dans les stations de Gura Portitei (30-58%) et Sf. Gheorghe (24-52%), et la plus basse pour les stations de Constanta (27-49%) et Mangalia (10-33%) ;
- cumulant les types de temps 1 et 2, c'est-à-dire le très beau temps ensoleillé et le beau temps ensoleillé, il en résulte que le temps favorable à la cure héliomarine sur la cote roumaine de la Mer Noire en juin - août est situé entre 27 et 45% à Mangalia, 45 et 57% à Constanta, 37-57% à Sf. Gheorghe et 46 et 70% à Gura Portitei ;
- la plus défavorable période de l'année est septembre quand, due à l'instabilité croissante du temps, pendant les deux premières décades toutes les stations enregistrent une fréquence de 18-36% du temps défavorable, et pendant la troisième période les congés peuvent être ratés en pourcentage de 34-37% à Constanta et Gura Portitei et 43 et 54% à Sf. Gheorghe et respectivement Mangalia.

Références bibliographiques

Besancenot, J. P., 1990 : Climat et tourisme, Masson, Paris, 230 p.

Besancenot, J.P., Mounier, J., Lavenne, F. de, 1978 : Les conditions climatiques du tourisme littoral : une méthode de recherche compréhensive, *Norois*, t. XXV, no 99, pp. 357-382.

Dragotă, Carmen, Vasenciuc, Felicia, Mateescu, Elena, Rătoiu, Zoe, 1999 : Stâna de Vale – caracteristicile climatice favorabile activităților turistice, *A.U.O.*, Tom IX, Oradea, pp. 119-124.

Teodoreanu, Elena, Dacoș-Swoboda, Mariana, Voiculescu, Camelia, Enache, Liviu, 1984 : Bioclima stațiunilor balneoclimaterice din România, Editura Sport-Turism, București, 215 p.

POSSIBILITES DE RETOUR DES CONDITIONS CLIMATIQUES PROPICES AUX GRANDES CRUES DE L'ISERE A GRENOBLE

D. Dumas et T. Getny

Institut de Géographie Alpine, Grenoble
e-mail : dominique.dumas@ujf-grenoble.fr

Résumé : Les grandes crues connues de l'Isère à Grenoble ont toutes été observées entre le XVII^e et le XIX^e siècle. L'inondation de 1859 marque la dernière grande crue d'inondation de l'Isère. La tranquillité de l'Isère au cours du XX^e siècle est-elle définitive ou liée à une modification climatique ? Pour répondre à ces questions, l'étude vise dans un premier temps à cerner les particularités climatiques de ces événements hydrologiques. Dans un second temps, afin d'évaluer le caractère plus ou moins exceptionnel de ces conditions climatiques, les valeurs annuelles maximales des précipitations cumulées, d'une journée à six journées consécutives, ont été ajustées à la loi de Gumbel. La démarche a été ensuite reconduite avec les précipitations journalières couplées à une hausse des températures. Il apparaît d'une manière assez nette que ces crues font suite à des conditions climatiques véritablement exceptionnelles dont la période de retour avoisine le millier d'années. Aussi, l'absence de ces grandes crues au cours XX^e siècle n'est pas étonnante sur un plan statistique, et il ne faudrait peut-être pas y voir la marque d'un changement climatique régional ou planétaire.

Mots-clé : Pluies, températures, crues exceptionnelles, changement climatique, l'Isère, Grenoble.

Abstract: All the large known water raises of Isère in Grenoble were observed between the XVII and the XIX century. The 1859 flooding marks the last great water rise of Isère. The city has never been flooded since. Is the peace of Isère during the XX century absolute or related to a climatic change? To answer these questions, this study aims initially at determining the climatic characteristics of these hydrological events. In the second time, in order to evaluate the more or less exceptional character of these climatic conditions, the maximum annual values of cumulated precipitations, from one to six consecutive days, were adjusted with the Gumbel law. The procedure then was renewed with daily precipitations coupled to a rise of the temperatures. It appears in a rather clear way that these risings follow upon truly exceptional climatic conditions with a return period close to a thousand years. Also, the absence of these great risings during the XX century is not astonishing on a statistical level, and perhaps we should not see there the mark of a regional or planetary climatic change.

Key words: Rain, temperatures, exceptional water risings, Isère, Grenoble.

Introduction

Parmi les nombreuses crues de l'Isère des siècles passés, celles successives du 16 puis du 30 novembre 1651 semblent être les plus importantes, en liaison avec des conditions climatiques exceptionnelles (Dumas, 2004). Un peu plus de deux cents ans après les deux crues de 1651, l'inondation de 1859 marque la dernière grande crue d'inondation de l'Isère (Pardé, 1925 ; Vivian, 1969). Depuis, la ville de Grenoble n'a plus jamais été inondée, et les crues les plus puissantes ont à peine dépassé la moitié du débit maximal enregistré en 1651. Toutefois, il serait insensé de croire que l'Isère est définitivement réduite à l'état d'un cours d'eau inoffensif et "il faut s'attendre un jour ou l'autre à l'inondation presque totale de Grenoble et du Grésivaudan" écrivait M. Pardé en 1937.

Les archives conservées dans différents lieux (Fonds Pardé, Fonds Dauphinois, Archives Départementales de l'Isère, Bibliothèque municipale de Grenoble), apportent des informations sur le contexte climatique de ces événements hydrologiques extrêmes et permettent de savoir si la relative tranquillité de l'Isère au cours du XX^e siècle est fortuite ou consécutive à une modification plus générale du climat.

1. Conditions climatiques des grandes crues de l'Isère

A partir notamment du Fonds Pardé, du Fonds Dauphinois, et de diverses sources bibliographiques, les conditions climatiques associées à certaines crues anciennes de l'Isère ont pu être renseignées (tableau 1). Une lecture attentive de ces sources a permis de retrouver les précipitations responsables de certaines crues anciennes, et d'évaluer les caractéristiques thermiques ayant accompagné ces événements hydrologiques.

La participation ou non d'une fusion du manteau nival est parfois explicitement mentionnée dans les textes. A défaut d'observation, elle a été évaluée d'une manière indirecte. L'épisode pluviométrique de septembre 1733, par exemple, décrit précisément par F. Marchand (1876) comme "un ouragan" qui débuta le 14 septembre vers 16h, amena le Drac et l'Isère à "sortir de leurs lits dès 18h". Pour cet épisode, la forte intensité de l'averse ne semble pas faire de doute et la fusion nivale ne peut expliquer cette réponse hydrologique aussi rapide, d'autant que les précipitations mesurées à Grenoble, relevées en une seule journée, auraient été supérieures à 160 mm (5 pieds). En revanche, la crue du 27 octobre 1778, associée au "Déluge de la Saint-Crépin", est consécutive à une période très pluvieuse et neigeuse en montagne (Marmillod, 1778). En 36 heures au moins, des pluies "diluviennes" s'abattirent sur la région accompagnées d'une forte hausse des températures (une température de 16°C est relevée à Grenoble). Dans ce cas, l'intensité de la crue a très certainement été renforcée par un apport lié à la fusion nivale.

Ces précipitations, souvent cumulées sur plusieurs jours, associées ou non à une hausse de température, ont-elles été exceptionnelles ? Et question corollaire, sont-elles susceptibles de réapparaître ?

Tab. 1 : Caractéristiques hydroclimatiques de quelques crues anciennes de l'Isère à Grenoble (module de l'Isère = 200 m³/s)

Dates	Débit maximal (m ³ /s)	Débit avant la crue (m ³ /s)	Précipitations cumulées (mm)	Durée de l'averse	Fusion nivale	Température à Grenoble lors de la crue	Hausse de la température
11 février 1711	1460		105 à 115		oui	11 à 13°C	au moins 4°C
15 septembre 1733	1900	200	160 à 170	1 jours	non		
21 décembre 1740	1980	200	130 à 150		oui	12 à 14°C	au moins 4°C
12 juin 1764	1460		30 à 40	36 heures	oui	27°C	
2 juillet 1777	1167	600	20 à 40	2 à 5 heures	oui	30°C	plus de 10°C
27 octobre 1778	1820	800	100 à 130	36 heures	oui	16°C	au moins 4°C
31 juillet 1816	1160			4 à 5 jours	non		
26 novembre 1840	970	850 à 900	25 à 30	4 à 5 jours	non		
8 août 1852	778		100		non		
31 mai 1856	1120		100	2 jours	oui	20 à 22°C	environ 4°C
2 novembre 1859	2000	200 à 250	130 à 150	3 à 5 jours	oui	18 à 19°C	8 à 10°C

(d'après le Fonds Dauphinois : dossiers 26784, 26789, 26800, 26798 ; le Fonds Pardé : dossiers 1091, 1155 ; Pilot de Thorey, 1765 ; Marmillod, 1778 ; Pilot 1857 et 1859 ; Bertrand, 1859 ; Champion, 1861 ; Marchand, 1876 ; Raullin, 1876 ; Cosseron de Villenoisy, 1894 ; Vidal, 1904 ; Pardé, 1925, 1937 ; Dumas, 2004)

2. Approche probabiliste

Sur la période 1950-2001, à partir de six stations pluviométriques représentatives du bassin de l'Isère (Bourg-Saint-Maurice, Chapareillan, Ornon, Montaud, Fontanil-Cornillon et Saint Pierre-de-Chartreuse), les précipitations journalières maximales ont été analysées. Par ailleurs, une étude des précipitations sur Grenoble montre qu'il n'existe pas véritablement de divergence dans le comportement pluviométrique des périodes 1886-1950 et 1950 à nos jours (Pupier, 1996).

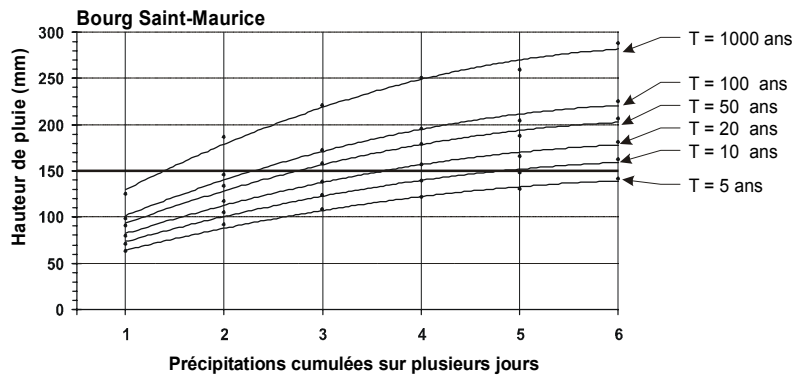


Fig. 2 : Courbes des hauteurs de pluie cumulées, durées, fréquences pour la station de Bourg-Saint-Maurice: période de référence 1950-2001 (données Météo France)

Afin de cerner le caractère plus ou moins exceptionnel d'un cumul de pluie allant d'une journée à six jours, nous avons tracé pour ces stations les courbes intensité - durée - fréquence (fig. 2 : exemple avec la station de Bourg Saint-Maurice). Les valeurs annuelles maximales des précipitations cumulées, d'une à six journées consécutives, ont été ajustées à la loi de Gumbel.

Cette caractérisation à partir de six stations reste bien évidemment incomplète. Les précipitations en zone montagneuse présentent toujours des gradients verticaux mais aussi horizontaux importants. Cependant, à partir de ces postes de mesure, l'analyse des précipitations journalières extrêmes cumulées sur plusieurs jours, ne semble pas montrer de gradients verticaux et/ou horizontaux importants. Il sera néanmoins nécessaire de confirmer cette observation.

D'après les données historiques, l'inondation de 1733 marque le seul évènement important ($Q_{max} = 1900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) où la fusion nivale n'est pas intervenue dans l'écoulement. Sur une seule journée, un épisode pluvieux de 160 à 170 mm (tableau 1) a engendré cette brusque montée des eaux. Dès lors, il apparaît sur un plan statistique relativement exceptionnel puisque la période de retour avoisine au moins mille ans (figure 2), et ce quelle que soit la station étudiée. En revanche, pour les crues de 1740, 1778 et 1859, les précipitations, ont perduré plusieurs jours (de 3 à 5), avec des précipitations cumulées supérieures à 100 mm, ou même avoisinant 150 mm. Ces épisodes pluviométriques ne sont pas rares. Sur 3 jours consécutifs, par exemple, la valeur de 150 mm est dépassée pour une fréquence d'environ 0.98 ($T = 50$ ans). Cela montre bien, en considérant uniquement ce paramètre pluviométrique, le caractère, certes peu fréquent (cinquantennal, voire tout au plus centennal selon les stations), mais non exorbitant de précipitations susceptibles d'engendrer une crue comparable à celle de 1859. C'est sans doute, et avant tout, la concomitance de précipitations durables et intenses avec une fusion nivale du manteau neigeux par situation de redoux, qui serait à l'origine des évènements les plus marquants.

Pour regarder l'occurrence d'évènements pluvieux associés à une hausse des températures, la démarche a été reconduite uniquement sur les précipitations journalières couplées à une hausse moyenne des températures d'au moins 4°C . On peut penser que l'apport nival dans l'écoulement de crue devient significatif uniquement lorsque la fusion nivale peut s'opérer rapidement, ce qui nécessite une hausse marquée de la température. Plusieurs méthodes ont été testées afin de détecter ces phases de redoux : la différence entre la température moyenne journalière et la température journalière moyennée sur 27 jours a été retenue.

Les résultats sont relativement proches entre les stations étudiées et montrent que des précipitations cumulées supérieures à 100 mm et associées à un redoux moyen de plus de 4°C , deviennent exceptionnelles (figure 3). La crue de 1859, où des précipitations cumulées de 150 mm ont été associées à un redoux (redoux peut-être même supérieur à 4°C), semble bien témoigner de caractéristiques pluviothermiques rarissimes.

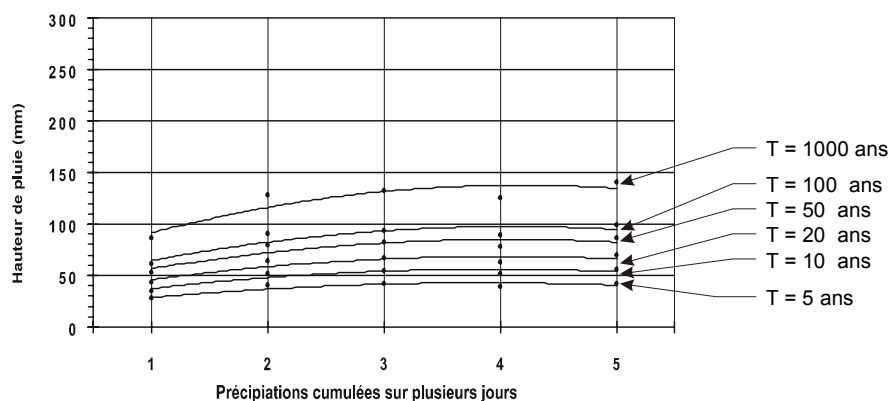


Fig. 3 : Occurrences des précipitations cumulées sur plusieurs jours associées à une hausse moyenne de la température d'au moins 4°C (station de Bourg-Saint-Maurice)

Conclusion

Les grandes crues de l'Isère, observées entre le XVII^e et XIX^e siècle, font suite à des conditions climatiques exceptionnelles. En effet, des précipitations durables associées à un redoux, même modéré, restent statistiquement extrêmement rares. L'information historique des grandes crues montrerait ainsi que le relative tranquillité de l'Isère au cours du XX^e siècle serait sans doute plus à rechercher dans une carence d'évènements climatiques, statistiquement bien expliquée, que dans une modification plus profonde des occurrences, liée à un changement climatique régional ou planétaire.

Bibliographie

- Bertrand M.C., 1859. Etude sur l'inondation de Grenoble du 2 novembre 1859. Grenoble, Prudhomme, 16 pages.
- Champion M., 1861. Les inondations en France depuis le VI^e siècle jusqu'à nos jours : recherches et documents contenant les relations contemporaines, les actes administratifs, les pièces officielles, etc. de toutes les époques. Paris, Cemagref 2000, 6 volumes.
- Cosseron de Villenoisy M., 1894. Les inondations de l'Isère et du Drac. FAD, bibliothèque scientifique du Dauphiné, 22 pages.
- Dumas D. 2004. Les deux crues mémorables de l'Isère à Grenoble (1651 et 1859). Analyse des estimations de M. Pardé. Rev. Géogr. Alpine, septembre 2004, 12 pages (à paraître).
- Marchand F; 1876. Relation d'un déluge arrivé à Grenoble le 15/09/1733 –propos rapporté par M. Guignonnet. Bulletin de la société statistique du département de l'Isère, tome 16, 269-276.
- Marmillod M., 1778. Observations et mémoires sur la crue de l'Isère du 27 octobre 1778 et sur l'endiguement de l'Isère. FAD, 21pages.
- Pardé M., 1925. Le régime du Rhône. Etude hydrologique. Univ. de Lyon, Institut des Etudes rhodaniennes, 2 volumes : 441 pages et 887 pages.
- Pardé M., 1937. Le Grésivaudan inondé : juin 1937. Rev. de Géogr. Alpine, tome XXV, fas. I, 521-524.
- Pilot de Thorey E., 1765. L'inondation de 1764 à Grenoble. FAD, Microfilms du Dauphiné Libéré, tome 32, 250-282.
- Pilot J., 1857. Recherches sur les inondations dans la vallée de l'Isère de 1219 à nos jours. Maisonville, FAD, 144 pages.
- Pilot J., 1859. Grenoble inondé. 2^eème édition Grenoble, Maisonville et Fils et Jourdan, 110 pages.
- Pupier N., 1996. Analyse des fluctuations récentes de la nappe d'un hydrosystème perturbé. L'Isère dans le Grésivaudan. Thèse de Géographie, Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 219 pages.
- RaullinV., 1876. Observations pluviométriques faites dans la France de 1704 à 1870, Belles lettres et arts de Bordeaux, 326 pages.
- Vidal L., 1904. Sur la température et les précipitations à Grenoble et à la Tronche. FAD, Annales de l'Université de Grenoble, 8 pages.
- Vivian H. 1969. Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues. Rev. de Géogr. Alpine, tome LVIII, 1, 53-84.

TYPES DE TEMPS D'ETE POUR LA STATION DE CAPO MELE (LIGURIE, ITALIE) PENDANT LA PERIODE 1964-2003

S. Fratianni et A. Biancotti

Dipartimento di Scienze della Terra –Università degli Studi di Torino, Italie

e-mail : simona.fratianni@unito.it

Mots-clés : Types de temps, température, vitesse du vent.

Abstract: For this work, daily data from the Capo Mele (220 m. a.s.l.) weather station, in the Andora (SV) district - Western Liguria (Italy) - have been taken into consideration. This is an Airforce station which is fully automatic. A climatic analysis considering all available variables - temperature, precipitations, humidity, sunshine, wind -has been performed. Summer weather types for tourism have been calculated.

Introduction

Les données horaires de la station météorologique de Capo Mele, située dans la commune de Andora (SV) dans la Région ligurienne (Italie) ont servi de support à cette étude. Capo Mele est une station à relevé automatique et manuel de l'Aéronautique Militaire : la période des analyses climatiques commence en novembre 1963, année de l'installation, jusqu'à la fin 2003. Le site météorologique se trouve sur un promontoire à une altitude de 220 m et donne sur la Mer Ligure : pour ce motif, l'analyse climatique a aussi une valeur touristique.

On a pris en considération tous les éléments climatiques disponibles : la pluie pendant la journée (6-18 heures), la température maxima, les heures d'insolation, l'humidité relative, la vitesse du vent pendant les heures du jour. Ne dérive l'estime, à niveau saisonnier et décadaire (dix jours), de la fréquence des différentes conditions climatiques. L'étude de types de temps d'été est très importante pour évaluer les potentialités touristiques d'un site. La combinaison des multiples éléments du climat dont l'homme, touriste ou non, subit en permanence l'assaut convergent, constitue, en chaque lieu et à chaque instant, une réalité indissoluble : en l'occurrence, le temps, entendu au sens le plus banal du temps qu'il fait, du temps ressenti.










1. Méthode

Le principe consiste, à partir des exigences fondamentales du touriste, 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. J.P. Besancenot, J. Mounier et F. de Lavenne (1978) ont établi 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 ». Les sept premiers se prêtent aux activités touristiques soit parfaitement (type 1), soit avec de légères réserves (types 4 et 5), tantôt d'un certain degré d'inconfort (types 2, 3, 6 et 7). Au contraire, les deux derniers types (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 durée d'insolation I (heures) ou la nébulosité Nb observées, la durée D des précipitations en phase diurne (heures) ou la hauteur d'eau précipitée P (mm), la température maximale journalière Tx (°C), la vitesse du vent V (m/s) et la tension de vapeur U relevée (hPa) ou l'humidité relative.

Suivre la légende descriptive des types de temps d'été (juin-septembre) selon la classification de J. P. Besancenot et J. Mounier (tab. 1). Pour permettre de pallier les lacunes de la documentation pour le paramètre de la tension de vapeur, on lui a substitué l'humidité relative, qui doit être inférieure à 81% (de 6 à 18 heures) pour tout type de temps avec l'exception de type de temps 6 et 8 (humidité relative >81%).

Tab. 1 : Légende descriptive des types de temps d'été (juin-septembre) selon la classification de J. P. Besancenot et J. Mounier.

<p>TRÈS BEAU TEMPS ENSOLEILLÉ </p> <p>TYPE 1</p> <p>$I \geq 9$ h ou $Nb \leq 2/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $25 < Tx < 33$ °C $V < 8$ m/s $4 < U < 25$ hPa</p>	<p>TEMPS CHAUD ET LOURD </p> <p>soit</p> <p>TYPE 6</p> <p>$I \geq 9$ h ou $Nb \leq 2/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $Tx \geq 18$ °C $V < 12$ m/s $25 \leq U < 31,3$ hPa</p> <p>soit</p> <p>TYPE 8</p> <p>$I \geq 9$ h ou $Nb \leq 2/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $Tx \geq 33$ °C $V < 12$ m/s $U < 31,3$ hPa</p>
<p>BEAU TEMPS ENSOLEILLÉ </p> <p>TYPE 2</p> <p>$I \geq 9$ h ou $Nb \leq 2/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $18 < Tx < 25$ °C $V < 8$ m/s $4 < U < 25$ hPa</p>	<p>BEAU TEMPS avec VENT FORT </p> <p>TYPE 7</p> <p>$I \geq 9$ h ou $Nb \leq 2/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $18 \leq Tx < 33$ °C $8 \leq V < 12$ m/s $4 < U < 25$ hPa</p>
<p>TEMPS FRAIS ENSOLEILLÉ en juin et septembre </p> <p>TYPE 3</p> <p>$I \geq 9$ h ou $Nb \leq 2/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $16 \leq Tx < 18$ °C $V < 8$ m/s $4 < U < 25$ hPa</p>	<p>TEMPS DÉFAVORABLE </p> <p>TYPE 8</p> <p>TOUS LES AUTRES TYPES DE TEMPS, à l'exception du type 8 bis</p>
<p>BEAU TEMPS avec COUVERTURE NUAGEUSE PARTIELLE </p> <p>TYPE 4</p> <p>$3 \leq I < 9$ h ou $2 < Nb \leq 6/8$ $D = 0$ h ou $P = 0$ mm $18 \leq Tx < 33$ °C $V < 8$ m/s $4 < U < 25$ hPa</p>	<p>TEMPS POURRI </p> <p>TYPE 8 bis</p> <p>$I < 3$ h ou $Nb > 6/8$ $D > 3$ h ou $P > 5$ mm</p>
<p>BEAU TEMPS avec BREF ÉPISODE PLUVIEUX </p> <p>TYPE 5</p> <p>$I \geq 3$ h ou $Nb \leq 6/8$ $0,1 \leq D < 1$ h ou $0,1 \leq P < 1$ mm $18 \leq Tx < 33$ °C $V < 8$ m/s $4 < U < 25$ hPa</p>	

2. Résultats

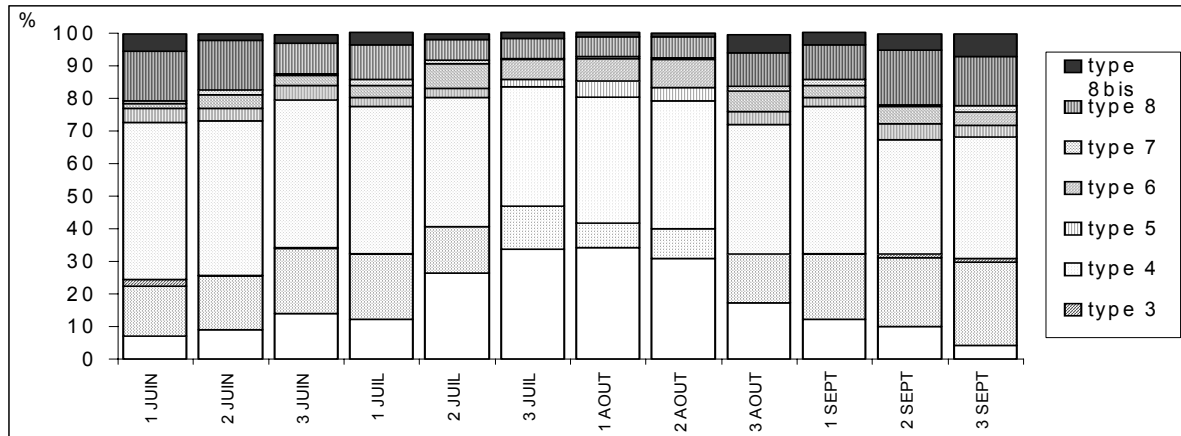
Les variations chronologiques de l'ambiance atmosphérique peuvent être mises en évidence par une schématisation graphique de la fréquence des différents types de temps quotidiens auxquels les vacanciers sont confrontés en chaque endroit. Afin de rendre la présentation plus parlante et de faciliter au besoin le regroupement de plusieurs types de temps qui offrent des perspectives assez voisines, une formule séduisante (type 1) à la base, jusqu'à celles qui réservent les conditions les moins propices (types 8 et 8 bis), au sommet. La présentation est faite en décade, durée qui semble constituer le pas de temps le plus souple et le plus commode.

On a reproduit ici l'exemple de la station de Capo Mele (fig. 1).

Le beau temps avec couverture nuageuse partielle (type 4) domine assez largement la saison, avec une fréquence relative moyenne de 41%. En deuxième position, vient le très beau temps ensoleillé (type 1) laquelle recouvre des réalités éminemment variables d'un moment à l'autre (de 35% en troisième

décade de juillet et première et deuxième décades d'août, à 4% fin septembre). Suit le beau temps ensoleillé (type 2) : de 26% en troisième décade de septembre à 7% lors de la première décade d'août (avec une moyenne de 16%), lui-même suivi du temps défavorables (type 8, en moyenne 11%).

Fig. 1 : Diagramme climatique stationner: Capo Mele (SV), Ligurie. Données décadaires. Période 1964-2003.



En définitive, l'ensemble des ambiances partiellement ou totalement propices (types 1 à 7) occupe 86% de la période estivale, avec une relative égalisation interdécadaire. La fin du mois d'août et de septembre jusqu'au 20 juin, les conditions atmosphériques présentent des pourcentages inférieurs (presque 80%) ne réservant plus au tourisme que des avantages sensiblement réduits.

Conclusions

L'étude de types de temps d'été est très importante pour évaluer les potentialités touristiques d'un site. Une analyse précise des données climatiques constituera un élément décisif du choix des équipements les mieux adaptés à un marché. « *A chaque spécificité climatique, note J. Billet (in Besancenot, 1990), doit correspondre une sélectivité touristique. La combinaison des multiples éléments du climat dont l'homme, touriste ou non, subit en permanence l'assaut convergent, constitue une réalité indissoluble* ».

Références bibliographiques

- BESANCENOT, J.P., 1990 : Climat et tourisme. Masson, Paris.
- ESCOURROU P., 1980 : Climat et tourisme sur les cotes françaises de Dinard à Biarritz. Paris, Univ. Paris I, 3 vol., 787 p.
- FRATIANNI S., 2002 : Une contribution au calcul des indices climatico-touristiques: un exemple dans la haute Vallée de Susa (Nord-Ouest Italie). Publications de l'AIC, Seville 14: 319-326.
- SERRAMEA J., 1980 : Un indice climatico-touristique pour quelques stations balnéaires françaises. Annales de Géographie, t. LXXXIX, n°495.

LES PARAMETRES METEOROLOGIQUES DANS LES INVENTAIRES SPATIALISES D'EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

E. Grondin, S. François et J.-L. Ponche

Laboratoire de Physico-chimie de l'Atmosphère
Centre de Géochimie de la Surface, UM 7517 CNRS, Université Louis Pasteur de Strasbourg
e-mail : ponche@illite.u-strasbg.fr

Résumé : Les émissions atmosphériques de certaines catégories de sources dépendent fortement de paramètres météorologiques (température, vitesse du vent et irradiation solaire). Il est important de pouvoir disposer de ces données à des résolutions spatiales compatibles avec les cadastres d'émissions afin de limiter les incertitudes dues à ces paramètres.

Mots clés : cadastre d'émissions, émissions biotiques, émissions anthropiques modélisation des émissions, paramètres météorologiques

Abstract : The atmospheric emissions of some source categories depend highly on meteorological parameters (temperature, wind velocity and solar irradiation). To avoid large uncertainties due to these parameters, it is necessary to obtain meteorological data at spatial resolutions consistent with the emissions inventories.

Keywords: emission inventory, biogenic emissions, anthropogenic emissions, emission modelling, meteorological parameters

Introduction

Les inventaires d'émissions constituent un élément majeur dans la modélisation et la compréhension de la pollution atmosphérique. Les flux de composés chimiques aussi bien issus des sources anthropiques que biotiques doivent être identifiés de plus en plus précisément pour répondre aux besoins de la modélisation de la qualité de l'air (pollution photochimique, amplification de l'effet de serre, etc.). Certains de ces composés peuvent être à la fois d'origine anthropiques et biotiques. Ces dernières sont en général moins bien quantifiées que les émissions anthropiques car elles résultent de processus biologiques dont certains dépendent fortement des facteurs météorologiques. Dans le cas de ces émissions la donnée essentielle est la donnée météorologique. Egalement, ces paramètres météorologiques peuvent aussi influencer sur les niveaux d'émissions de différentes sources anthropiques. Dans ce cadre des programmes ESCOMPTE (Cross et al., 2004) et BOND (Biogenic Aerosols and Air quality in the Mediterranean Area), la méthodologie de calculs des émissions a été perfectionnée pour la zone méditerranéenne comprenant en particulier les émissions biotiques, la description précise de ces émissions se heurte actuellement à la disponibilité des données fines des paramètres météorologiques aux résolutions où sont réalisés les cadastres d'émissions. Il en résulte des incertitudes encore beaucoup trop importantes liées à ces paramètres.

1. Paramètres météorologiques et émissions

Les paramètres météorologiques dont dépendent certaines sources sont par ordre en général le facteur température (T), la vitesse du vent (V), la partie des radiations du spectre solaire photosynthétiquement active ou PAR (Photosynthetically Active Radiation) plus spécifiquement pour la végétation et les cultures, et dans une moindre mesure l'humidité relative (HR%). La formule générale d'un calcul d'émissions en première approche est donnée par l'équation de base (1) ci-dessous :

$$E_{s,p,\Delta t} = A_s \cdot Fem_{s,p} \cdot TF_{\Delta t} \quad (1)$$

ou $E_{s,p,\Delta t}$ représente les émissions de polluant p de la source s pendant la durée Δt , A_s l'activité de la source s, Fem_p le facteur d'émission du polluant p de cette source et $TF_{\Delta t}$ le cas échéant, la distribution temporelle des émissions pendant la durée Δt .

Les paramètres météorologiques lorsqu'ils ont une incidence sur les niveaux d'émissions, peuvent intervenir soit directement dans le processus de génération des émissions auxquels cas ils sont généralement inclus dans les facteurs d'émissions, soit plus indirectement en induisant une modification de l'activité de la source et dans ce cas ils sont intégrés dans le facteur d'activité.

1.1 Les sources anthropiques

Relativement peu de sources anthropiques sont directement dépendantes des conditions météorologiques et le facteur intervenant est la température ambiante. Néanmoins, tous les processus d'évaporation de solvants principalement dans l'industrie et les activités domestiques ou de carburants volatils (essences) pour les secteurs du transport, du raffinage et du stockage des carburants et combustibles. On peut citer par exemple l'évaporation liée à la respiration des réservoirs des véhicules à essence (le gazole est quant à lui peu volatils), dont l'estimation journalière des émissions repose sur les gradients horaires de température (Heine and Baretti, 1987). Le chauffage des secteurs résidentiel et tertiaire dépend également des conditions de température extérieures mais plus indirectement. La température extérieure induit la quantité de chaleur à produire (activité de la source) lorsque celle ci est inférieure à 18°C. Pour chaque jour de l'année et chaque région, sont calculés le nombre de degrés-jour $N_{d^{\circ}j}$:

$$N_{d^{\circ}j} = (T_{\text{moy. journalière extérieure}} - 18^{\circ}\text{C}) \text{ si } T < 18^{\circ}\text{C} \text{ et } N_{d^{\circ}j} = 0 \text{ si } T > 18^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

Cette donnée reposant sur la température moyenne journalière permet de dimensionner l'activité des sources (chaudières). Suivant le raffinement du calculs désiré, et en fonction des données disponibles, il est également possible de prendre en compte l'inertie thermique des bâtiments ce qui se traduit par un décalage de l'ordre de 1 à 2 jour entre un nombre de degrés-jour non nul sur plusieurs journées consécutives et le démarrage des chaudières.

1.2 Les sources biotiques

Les sources biotiques comprennent l'ensemble des sources qui font intervenir des processus chimiques et biologiques du milieu naturel (forêts primaires et non exploitées, surface marine, etc.) ou de sources naturelles anthropisées (sylviculture, agriculture, élevage, etc.). Hormis quelques sources particulières, l'ensemble de ces sources concerne la matière vivante ou sa transformation et il est plus adapté de parler d'émissions de composés chimiques que de polluants. Les composés émis sont très variés suivant les sources et sont résumés dans le tableau I pour les catégories de sources biotiques qui dépendent des paramètres météorologiques. Il s'agit principalement des émissions de COVNM issues des plantes et du DMS d'origine marine. En effet les travaux de Günther (Günther, 1997) montrent que les COV émis par les plantes, principalement l'isoprène et les monoterpènes, sont fonctions de la température ambiante et du PAR (fraction de la radiation solaire totale). Des travaux plus récents (Staudt et al., 2000) ont permis de préciser que les algorithmes de calcul ne sont valables que dans une plage de température de 15 à 40°C et pour un PAR supérieur à 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Tab. 1 : Composés émis par grandes catégories de sources biotiques (en grisé) et dépendance des émissions en fonction des paramètres météorologiques (T, PAR, V)

	Composés soufrés :	Monoxyde d'azote :	Ammoniac :	Composés organiques volatils non méthaniques : COVNM		
	DMS	NO	NH3	Isoprène	Monoterp.	Autres
Forêts, prairies				T, PAR		T, PAR
Sols (forêts, agricoles)		Ts ^a				
Mer - surface marine	V, Tw ^b		Tw ^b			

a : Ts Température du sol

b : Tw température de la surface de l'eau

Le DMS émis par la mer dépend lui aussi des paramètres météorologiques mais ici ce sont la température de l'eau de la surface marine et la vitesse du vent qui influencent les émissions. (Kettle et Andrea, 2000).

2. Influence des paramètres météorologiques sur les niveaux d'émissions

Le flux d'émission de COVNM de la végétation est donné par l'algorithme de Günther :

$$F = E_S \cdot D \cdot \gamma \quad (3)$$

où F est le flux d'émission de COVNM en $\mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$, E_S le facteur d'émission normalisé pour $T = 30^\circ\text{C}$ et $\text{PAR} = 1000 \mu\text{mol photons } (\gamma = 400\text{-}700 \text{ nm}) \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, D la densité de biomasse foliaire en $\text{g}_{\text{poids sec}} \text{ m}^{-2}$ et γ le facteur correctif sans dimension de température et de luminosité.

Isoprène :

Pour les émissions d'isoprène le facteur de correction γ devient : $\gamma = C_T \times C_L$ (4)

C_L est le facteur correctif de luminosité et C_T le facteur de correction de la température

Monoterpènes :

Pour la majorité des émissions de monoterpènes, le facteur de correction ne dépend que de la température foliaire :

$$\gamma = \exp(\beta(T - T_S)) \quad (5)$$

où β est un coefficient empirique $\beta = 0.09 \text{ K}^{-1}$, T (K) la température foliaire et T_S (K) = 303K

DMS :

Le flux de DMS, en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ à travers l'interface mer-atmosphère se calcule à partir de l'équation suivante (Kettle et Andreae, 2000) :

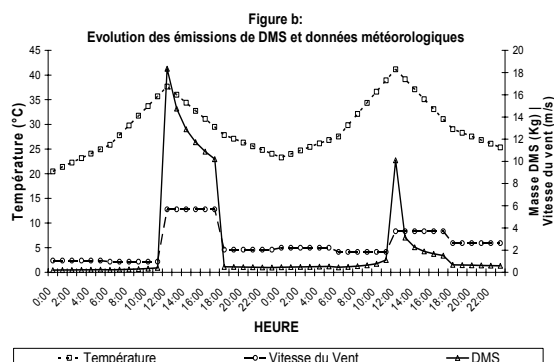
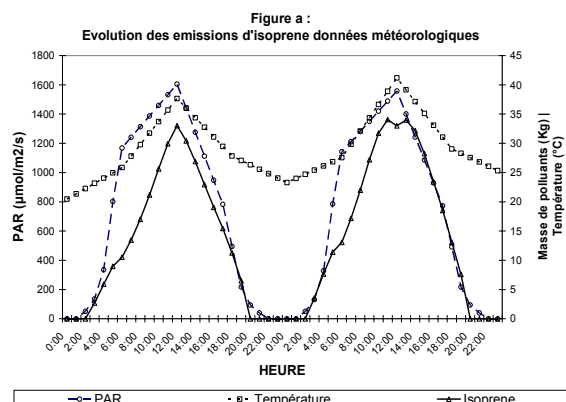
$$F = K \cdot \Delta C \quad (6)$$

où K est le coefficient d'échange en $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ qui dépend de la vitesse du vent normalisée à 10 m au-dessus de la mer, $\Delta C = C_a / H(T_w) - C_m$ avec C_a et C_m les concentrations de DMS dans l'air et dans la mer (toutes deux en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) et H la constante de Henry à la température de la mer T_w .

3. Exemple de flux d'émissions dépendant des paramètres météorologiques

Deux exemples de flux d'émissions calculés sur la région de Marseille en juillet 2001 pour 2 journées consécutives ont été extraits des cadastres d'émissions horaires

Ces variations horaires d'émissions sont dues aux variations des paramètres météorologiques qui interviennent dans le calcul et montrent ainsi l'importance de la dépendance des flux émis par rapport à ces paramètres. Les valeurs d'émissions sont relatives à une maille de $1 \times 1 \text{ km}^2$. Dans la cas de l'isoprène (fig. a), on voit clairement l'influence des paramètres température et PAR et le cycle diurne nocturne. Au cours du deuxième jour la température dépasse légèrement les 40°C à midi et ce qui a pour effet de faire baisser les émissions d'isoprène, car on sort du domaine d'application des algorithmes de calculs. Le même comportement se retrouve avec les monoterpènes. Pour le flux de DMS (fig. b) la double dépendance de la température et de la vitesse du vent apparaît clairement entre les 2 journées représentées. La vitesse du vent apparaît déterminante et la température vient moduler cette fonction.



Conclusion

Dans le cadre du programme BOND les données météorologiques sont issues du modèle ARPEGE (METEO-France) qui fournit les données (T, V, PAR) avec une résolution temporelle de 6 heures et une variation spatiale allant de 20 km sur Marseille à 40km sur Athènes. Pour avoir la résolution horaire adaptée à nos calculs, une interpolation linéaire horaire a été nécessaire pour T et PAR. Pour V, nous l'avons considérée comme constante durant la plage de 6 heures encadrant l'heure de sortie de modèle. Le programme ESCOMPTE à lui bénéficier des données du modèle ALADIN qui fournit une résolution temporelle de 3 heures et spatiale de 10 km. Vu le caractère non linéaire de ces dépendances, il est nécessaire e pouvoir disposer de données les plus précises possibles. Dans notre cas, il aurait été souhaitable de pouvoir disposer de données spatiales et temporelles plus fines ce qui nous aurait permis de limiter beaucoup le facteur d'incertitude lié à ces paramètres.

Références

- CROS B., DURAND P., FREJAFON E., KOTTMEIER C., PERROS P. E., PEUCH V-H., PONCHE J-L, ROBIN D., SAÏD F., TOUPANCE G., WORTHAM H., 2004: The ESCOMPTE program: an overview, Atmospheric Research, 69, 3-4, pp 241-279.
- GUENTHER A.B., 1997, Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions, Ecological Application, 7, pp 34-45
- Heine P. and Baretta A. (1987): Emissionsfaktoren für die Verdampfungsemissionen von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, November 1988
- KETTLE A.J., ANDREA M.O., 2000, Flux of Dimethylsulfide from the oceans: A comparison of updates data sets and flux models, J. Geophys. Res., 105, D22, pp 26793-26808.

LES SEQUENCES DES JOURS SANS PLUIE EN TUNISIE

Z. Helaoui

Fac Sciences Humaines et Sociales de Tunis
UR : Eau, Environnement et Développement Durable en Tunisie
e-mail : zouhaierhlaoui@yahoo.fr

Résumé : En Tunisie, la pluie est l'élément climatique qui a toujours attiré le plus l'attention des chercheurs. Or, l'importance de la connaissance des jours et des séquences sans pluies n'est pas à démontrer pour un pays comme la Tunisie dont le climat est aride à semi aride sur les 2/3 de son territoire et dont les ressources en eau sont très limitées. Dans le présent travail, nous nous proposons d'analyser la durée et la physionomie des épisodes secs, leurs variation saisonnière et mensuelle et enfin, les facteurs aérologiques à l'origine de longues séquences sèches. Notre approche sera à la fois statistique et dynamique. Les données de bases utilisées sont :

- les séries pluviométriques à l'échelle quotidienne et ce pour une trentaine de stations assez bien réparties entre les différentes régions climatiques de la Tunisie ;
- les cartes de temps relatives aux séquences sèches les plus longues.

La période de référence de notre étude correspond à la dernière normale (1961-1990).

Mots-clé : Climat, sécheresse, jour sans pluie, séquences sèches, variabilité, facteurs aérologiques, Tunisie.

Abstract: Rain is the element that draws the most climatology research in Tunisia. We believe that the analysis of rainless days and specially their sequence is significant. In this study, we propose a statistic analysis of sequences of rainless days in 30 meteorological stations and over a period of 30 years (1961-1990). We investigate spatial and temporal variability; we also explain it on the basis of the atmospheric circulation. We conclude that there is a difference between Northern, Centre and the Southern Tunisia. The short sequences of rainless days are frequent mostly in the North and during the wet season but the longer sequences are frequent in the Centre, the South and during summer

Key-words: Climate, rainless days, Atmospheric circulation, Tunisia.

Introduction

En Tunisie, la pluie est l'élément climatique qui a toujours attiré le plus l'attention des chercheurs. Plusieurs études lui ont été consacrées, mais la plupart d'entre elles focalisent sur les quantités des pluies et les épisodes pluvieux. Or, l'importance de la connaissance des jours et des séquences sans pluies n'est pas à démontrer pour un pays comme la Tunisie dont le climat est aride à semi-aride sur les 2/3 de son territoire et dont les ressources en eau sont très limitées. Dans le présent travail, nous nous proposons d'analyser les jours sans pluie, leur variation spatiale et interannuelle, la durée et la physionomie des épisodes secs, la variation saisonnière et mensuelle de ces épisodes, enfin, les facteurs aérologiques à l'origine de longues séquences sèches.

1. Données et méthodes

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 une trentaine de stations assez bien réparties entre les différentes régions climatiques de la Tunisie.

- les pluviogrammes, ce type de document est d'un grand intérêt pour l'étude des jours de pluies et/ou des jours sans pluies. En effet, en dehors des stations principales, les données relatives aux jours de pluies ne sont pas d'une grande fiabilité. Les observateurs bénévoles, notamment les agriculteurs, ont tendance à négliger les jours où les pluies sont très faibles.
- les cartes de temps relatives aux séquences sèches les plus longues.

La période de référence de notre étude correspond aux trente dernières années.

Notre démarche a été la suivante : nous avons d'abord comptabilisé les jours sans pluies, ensuite les séquences sèches. Nous entendons par séquence sèche le ou les jours sans pluies observés entre deux jours pluvieux. Puis nous avons procédé à un traitement statistique de ces données pour déterminer leurs fréquences par nombre et par classe de durée et leurs répartitions saisonnières et mensuelles. Nous avons ensuite représenté nos résultats sur un support cartographique. En dernier lieu, nous avons cherché à mettre en rapport les séquences sèches très longues avec les régimes de la circulation atmosphérique.

2. Résultats

En Tunisie, le nombre moyen des jours sans pluie est très important. Il augmente du Nord (260 jours à Bizerte) au Sud (351 jours à El borma).le nombre des séquences sèches varie dans le sens inverse 52 séquences dans le Nord contre 20 seulement dans le Sud (Helaoui,2002). En plus, nous avons enregistré un nombre élevé de ce type de séquences au cours des années très pluvieuses (1969,1990). Il est clair que le nombre des séquences moins important dans les stations de Sud occulte, en fait des épisodes secs plus longs que dans le Nord.

A l'échelle saisonnière, nous enregistrons (tab. 1) le plus grand nombre des séquences sèches au printemps(surtout en mars) puis en automne, alors qu'elles sont moins fréquentes en été (en juillet) ainsi le classement saisonnier est le suivant : P.A.H.E.

Tab. 1 : nombre et fréquences des séquences sèches en Tunisie

Station	NJS	NSC	MP	NJP	SH%	SP%	SE%	SA%
Tabarka	264	51.8	1013	108	31.4	27.5	14.4	26.8
Beja	275	45.6	637	88	33	28.2	12.2	26.5
Sousse	320	39.5	328	44	28.3	29.4	14.6	27.6
Gafsa	328	35.1	160	42	27.3	28.7	15.9	28
Gabes	328	33	189	40	28.2	29	13.8	29
Kebili	348	24	94.2	16	29.4	27.1	15.4	28

NJS : nombre moyen annuel des jours sans pluies
 NSC : nombre moyen annuel des séquences sèches
 MP : total annuel des pluies en mm
 NJP : nombre moyen annuel des jours de pluie

SH : fréquence des séquences hivernales
 SP : fréquence des séquences printanières
 SE : fréquence des séquences estivales
 SA : fréquence des séquences automnales

Le nombre des séquences sèches hivernales est faible à cause du caractère généralement humide de la saison, alors celui de l'été est plus faible vu qu'elles sont de longue durée.

L'examen de la durée des séquences sèches (tab. 2) laisse apparaître que Les séquences de courte durée dominant dans le Nord, 70% d'entre elles ne dépassent pas 5 jours à Tabarka. Elles sont moins fréquentes dans le Centre et le Sud. Dans le Sud , par contre , les séquences de longues durée dominant, a titre d'exemple 32% des séquences sèches à Kebili durent plus que 20 jours successifs et 52% durent plus de 10 jours successifs.

Tab. 2 : Durée des séquences sèches (en % du total)

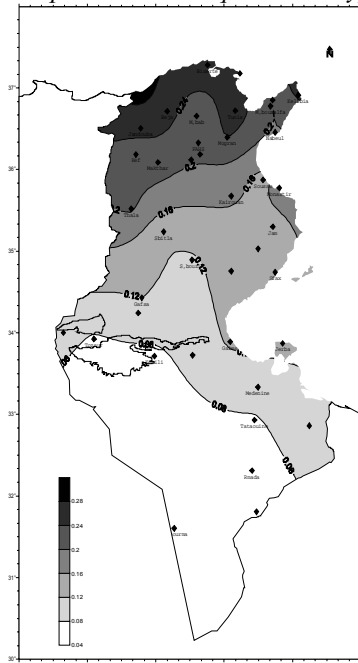
Station	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	SSPL	DSPL
Tabarka	29.1	42.8	16.5	7.6%	4	96	2/6-5/9/78
Beja	26.3	41.8	17.1	9.1	5.6	113	17/6-2/9/90
Sousse	14.3	38	21.8	15.8	10.1	126	29/4-31/8/89
Gafsa	12.1	34.5	21.6	18.4	13.3	138	21/4-4/9/77
Gabes	12.5	32.8	19.4	20	15.3	163	13/4-21/9/61
Kebili	7.1	22.8	16.1	21.9	32	338	15/12-17/11/86

Type 1 : Durée de 1 jour
 Type 2 : Durée de 2 à 5 jours successifs
 Type 3 : Durée de 6 à 10 jours successifs
 Type 4 : Durée de 11 à 20 jours successifs
 Type 5 : Durée de plus de 20 jours successifs

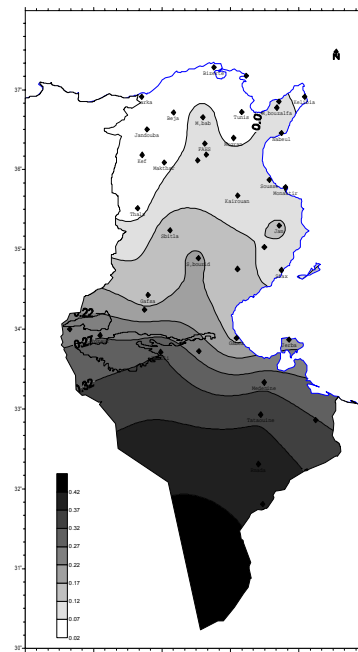
SSPL : durée de la séquence sèche la plus longue en jour
 DSPL : date de la séquence sèche la plus longue

Les figures 1 et 2 montrent l'effet de la latitude sur la répartition spatiale des séquences sèches de courte et de longue durée, le coefficient de corrélation des séquences très longues avec la latitude est de -0.82 .

Carte 1 : Répartition des séquences de type 1



Carte 2 : Répartition des séquences de type 5



La durée de la séquence la plus longue a été observé à El borma 571 jours, du 3/4/1977 à 16/10/1978, pour les autres stations, la durée maximale a varié entre 96 jours et 338 jours (tableau 2). Ce type de séquence peut être observé en pleine saison de pluie (115 jours dans la station de Sidi Bouzid entre 10 septembre 1960 et 2 janvier 1961, 48 jours à Makthar entre le 23 janvier et 11 mars 1983) (Henia.1993). La probabilité d'enregistrer ce type de séquence n'est pas synchronisée spatialement, nous les avons observées au début des années 60 au Sud Est (Gabes, Medenine), à la fin des années 70, dans les stations côtières du Nord et du Centre (Tunis, Sfax) et dans les années 80 au Nord Ouest et au Centre (Jendouba, Sidi Bouzid).

A l'échelle saisonnière (tab. 3), la plus part des séquences de type 1 et 2 se manifestent au cours de l'hiver et secondairement au printemps, par contre elles sont rares en été. Les séquences de type 3 sont fréquentes au printemps, nous remarquons aussi l'augmentation de la proportion de ce type en été. Enfin, les séquences de type 4 et 5 prédominent en été.

Tab. 3 : classement saisonnier des séquences sèches selon la durée

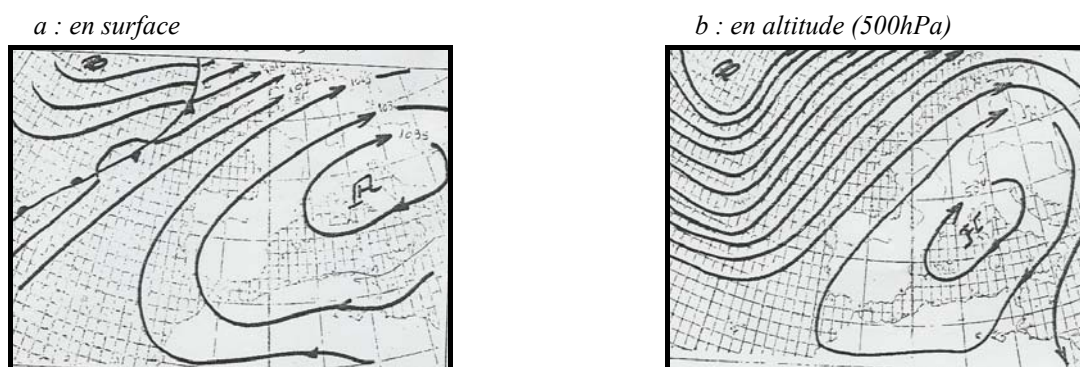
Station	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
Tabarka	HAPE	HPAE	PAHE	PAEH	EAPH
Beja	HPAE	HPAE	PAHE	EAPH	EAPH
Sousse	PHAE	PHAE	PHAE	PAHE	EAHP
Gafsa	PAHE	AHPE	PAHE	PAHE	EHAP
Gabes	PHAE	AHPE	PHAE	PHAE	EAHP
Kebili	HAPE	AHPE	HPAE	AHPE	EAPH

H : Hiver ; P : Printemps ; A : Automne ; E : Eté

L'examen des cartes de temps permet de constater que les situations aérologiques associées aux séquences sèches les plus longues se caractérisent par une circulation méridienne persistante mettant la Tunisie sous l'effet d'une crête en altitude (Douguedroit,1993; Henia,1998).

La figure 3 nous donne un exemple d'une situation sèche hivernale, celle de février mars 1990. Nous observons une crête en altitude qui engendre une situation anticyclonique au sol. La présence de l'anticyclone des Açores dure du 14 au 18 février puis du 26 au 3 mars, entre ces deux épisodes, l'anticyclone eurasiatique prend le relais. Cette situation se traduit par un temps chaud et sec, les températures ont dépassé les normales du mois de 4 à 5 degrés (18°C le 14 février à Tozeur alors que la moyenne du mois ne dépasse pas 13°C) et advections de sirocco et vents de sable.

Fig. 3. : Carte de temps du 23 février 1990



Conclusion

Avec sa position sur la rive sud de la mer Méditerranéenne et à la limite nord du Sahara, la Tunisie connaît des séquences sèches fréquentes et longues, mais leurs fréquences et leurs durées varient du Nord au Sud et selon les saisons. Au Nord, elles sont nombreuses mais de courtes durées, par contre au Sud, elles sont moins fréquentes mais durables.

Références bibliographiques

- DOUGUEDROIT, A., 1993 : A propos de la sécheresse dans le bassin méditerranéen, publication de l'AIC, volume 6, p15-23.
- HELAOUI, Z., 2002 : les pluies quotidiennes en Tunisie, Thèse, Faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 582 pages.
- HENIA, L., 1993 : La sécheresse au cours de la saison des pluies en Tunisie : Etude à partir des bilans hydriques agroclimatiques, Publication de l'AIC, volume 6, p 47-56.
- HENIA, L., 1998 : Les situations anticycloniques en Tunisie, publication de l'AIC, volume 11, p166-174.

**MOBILITE DES LITTORAUX ET VARIABILITE
DES VENTS DE TEMPETE ET DES HOULES DOMINANTES
AU COURS DU DERNIER SIECLE EN BRETAGNE**

A. Hénaff

LETG Géomer – UMR 6554 CNRS, Institut Universitaire Européen de la Mer
Technopôle Brest-Iroise (*Travaux de recherche soutenus par la Région Bretagne*)
e-mail : alain.henaff@univ-brest.fr

Résumé : La variabilité des conditions météo-océaniques au cours du siècle passé sur le pourtour de la péninsule bretonne est examinée à la lumière des connaissances apportées par les données météorologiques et les informations spatialisées de l'évolution de 2 géo-indicateurs littoraux. Quatre phases successives de flux zonaux et méridiens de durées variables sont mises en évidence de cette manière dans lesquelles, l'actuelle phase de flux méridiens renforcés ne paraît pas singulière. Ces résultats servent à mieux définir les risques littoraux régionaux et pourraient s'avérer utiles à l'élaboration de modèles météorologiques prédictifs à l'échelle régionale.

Mots-clés : Bretagne, tempêtes, houles, littoral.

Abstract: The variability of waves and storms climate around the Breton peninsula (France) during the last century are analysed from meteorological surveys and from the evolution of georef-data acquired from 2 coastal geo-indicators. Four periods of different lengths during which meridian flux follows western flux are identified. When compared the present period of reinforced meridian flux doesn't appear to be singular. These results are helpful to better define regional coastal risks and may be useful for futur climate modelling.

Key-words: Brittany, storms, wave climate, coastline.

Introduction

En Bretagne où, en 2004, 23 % des 2500 km de linéaire côtier sont affectés par l'érosion (Eurosion, 2004), la question de la variabilité des conditions météo-marines et de ses conséquences sur les rivages est centrale. La question est également posée au regard des risques naturels littoraux susceptibles de se multiplier dorénavant en raison, particulièrement, du « changement global du climat » prédit et de ses conséquences annoncées. Focalisés sur les grands changements climatiques opérant à l'échelle des temps géologiques, les travaux de recherches manquent souvent de précisions sur le temps court et à l'échelle spatiale régionale. Par ailleurs, il ne semble pas que les modèles prédictifs permettent, dès à présent, de définir, à cette échelle, les conséquences du changement climatique annoncé. Il paraît donc essentiel d'examiner la variabilité climatique régionale récente dans le détail afin de mieux comprendre ses conséquences passées ou actuelles en terme de dynamique littorale. On propose ici, pour la période récente, c'est-à-dire depuis le milieu du XIX^e siècle et surtout pour le XX^e siècle, un bilan de la variabilité de deux agents particulièrement efficaces dans l'évolution littorale, à savoir les vents de tempête et les houles dominantes. Pour ce faire, il est fait appel à la fois à des enregistrements météorologiques et à des observations diachroniques de géo-indicateurs. Les rivages de la péninsule s'étendant le long de trois façades maritimes principales (Manche, Atlantique, golfe de Gascogne) aux conditions différentes d'exposition aux houles et vents de tempête, les caractéristiques de ces indicateurs ont fait l'objet d'analyses spatiales et temporelles à partir desquelles il est possible de définir les tendances de cette variabilité météo-océanique.

1. Méthode d'étude

Au cours des deux derniers siècles, des rotations d'accumulations littorales attribuables à des variations de la résultante locale des houles (Pinot, 1989), des modifications de la composition en sédiments biogènes des dépôts intertidaux se produisant en l'absence de toute pollution (Hénaff et Bodéré, 2001) et des évolutions des couvertures algales de plates-formes d'érosion littorales imputées à une modification des conditions d'exposition des plates-formes aux vagues attestent que des modifications du régime météo-océanique sont intervenues en Bretagne. Ces observations sont étayées par différents auteurs qui mettent en évidence des changements dans les orientations dominantes des vents (Lemasson et Regnaud, 1997 ; The WASA Group, 1998 ; Otterman *et al.*, 2002) et/ou des houles sur l'Atlantique du nord-est (Lemasson et Regnaud, *op. cit.* ; The WASA Group, *op. cit.* ; Bows *et al.*, 1996, in Leroux, 2000). Toutefois, pour appréhender les tendances évolutives passées et actuelles de ces paramètres, ces observations et résultats sont difficilement exploitables. L'analyse s'appuie donc sur l'utilisation d'un ensemble de données spatialisées issues de l'examen de 3 indicateurs couvrant le littoral de la région.

Relativement aux caractéristiques des vents, les données météorologiques de Météo-France relatives aux directions des vents de tempête (vents de plus de 20 m/s) qui affectent la Bretagne entre 1948 et 1996 à partir de 8 points de mesure sont utilisées. Les variations du nombre annuel de tempête permettent de définir trois grands intervalles de temps durant lesquelles, les modifications de l'orientation résultante des vents de tempête sont observées. Concernant la variabilité des houles et des vagues parvenant sur les rivages, l'absence de mesures régulières à proximité des côtes nécessite un indicateur géomorphologique enregistrant l'une des caractéristiques primordiales des houles et des vagues, à savoir leur orientation résultante. Les accumulations en queue de comète sont utilisées pour ce faire. Leur fréquence d'apparition le long des rivages bretons, notamment en Manche, permet de disposer d'informations détaillées. Par ailleurs, Guilcher (1950) a montré que sur les rivages océaniques où les vents locaux sont fréquemment violents, le principe de Schou (1945, in Guilcher, *op. cit.*) est validé, à savoir que la direction de la houle dominante est la même que la direction résultante des vents forts. La position antérieure des queues de comète permet donc de connaître les conditions des vents forts pour les périodes durant lesquelles des enregistrements météorologiques ne sont pas disponibles. La chronologie des directions prises par 12 queues de comète est examinée en fonction des documents disponibles : les cartes des Ingénieurs Géographes (fin du XVIII^e siècle), cartes marines dressées par Beautemps-Beaupré (XIX^e siècle). Sur chaque document l'orientation correspond à une situation qui peut n'être représentative que d'un moment particulier dans l'évolution de l'accumulation, aussi ce sont les tendances exprimées qui sont retenues pour l'analyse. Enfin, relativement aux conséquences de la variabilité des paramètres météo-océaniques en terme de mobilité des rivages, c'est un inventaire, à la fois spatialisé et historique des dommages littoraux qui est utilisé. Cet inventaire est issu du recueil d'informations réalisé à partir d'une revue de la presse régionale, d'articles scientifiques et mémoires académiques, de travaux de terrain ainsi que d'une enquête réalisée auprès des communes littorales. Ces informations sont géo-référencées et exploitées au sein d'un système d'information géographique (Hénaff, 2004).

2. Variabilité météo-océanique au cours du XX^e siècle

2.1 Variabilité des vents de tempête

En fonction des variations de la fréquence annuelle des tempêtes, de 1949 à 1996, trois phases successives ont été retenues : 1949-1972, 1973-1980 et 1980-1996. Entre la première et la seconde, puis entre la seconde et la troisième de ces trois périodes, la plupart des sémaphores enregistrent une baisse, puis une augmentation du nombre moyen annuel de tempêtes. A cette variabilité en nombre s'ajoute une variation en direction des vents de quelques degrés. Cette analyse permet de distinguer les trois façades maritimes de la région. Sur la façade occidentale, elle met en évidence une variabilité en nombre moyen annuel des vents de tempêtes, ceux-ci tendant à augmenter au cours de la dernière période après avoir diminué dans la période précédente. Sur les façades septentrionale et méridionale, on observe que la variation en direction s'effectue dans le sens de vents de tempête devenant d'orientation méridienne, notamment sur la façade méridionale, au cours de la dernière période, après

être passé par une orientation zonale au cours de la période 1973-1980. D'une situation de vent de tempêtes zonaux jusque dans les années 1970, on serait ainsi progressivement passé à une situation de vents de tempêtes méridiens plus fréquents.

2.2 Variabilité de l'orientation des houles et des vagues

Une très grande variabilité de l'orientation des queues de comète au cours du temps, à la fois sur le court et le long terme, est mise en évidence. Ainsi, des documents établis à des dates proches montrent une grande adaptation de certaines queues de comète, notamment sableuses, aux conditions du moment. Il apparaît également que des orientations actuellement prises par certaines d'entre-elles ont pu être atteintes ou dépassées par le passé. A cette variabilité inter-annuelle, s'ajoute une variabilité sur le long terme dans laquelle des tendances d'évolution similaires des queues de comète exposées aux mêmes conditions de houles peuvent être distinguées malgré les décalages chronologiques observés dans leur changement respectif d'orientation. Afin d'exprimer ces évolutions les queues de comète sont classées en deux catégories en fonction de leur orientation générale qui comporte une composante méridienne orientée soit vers le nord soit vers le sud. Les résultats de ce classement mettent en évidence une tendance récente à l'accentuation de la composante méridienne nord et sud de leurs orientations. Cette tendance s'affirme très clairement à partir des années 80, avec des décalages dans le temps en fonction de la queue de comète observée. Comme pour les directions des vents de tempête, il apparaît donc qu'à partir des années 80, la composante méridienne des houles et des vagues parvenant sur les rivages de la région se renforce. Au cours du XX^e siècle et antérieurement aux années 80, il est également possible de distinguer trois autres phases : une première phase débutant dans les années 1920-30 et se terminant vers les années 1950-60 durant laquelle, les directions des houles sont dominantes d'ouest et de nord-ouest ; entre 1950-60 et 1970-75, une seconde période au cours de laquelle les houles dominantes proviennent du sud-ouest et du nord-ouest ; enfin, entre 1970-75 et 1980, les houles dominantes proviennent préférentiellement de l'ouest.

2.3 Variabilité historique de la localisation des dommages côtiers

Les conséquences des variations d'orientation des vents de tempête et des résultantes de houles en terme de mobilité des littoraux sont mises en évidence par l'examen de la localisation des dommages enregistrés sur les côtes entre 1949 et 2004. Il semble qu'il existe une réelle concordance entre la distribution spatiale de ces dommages et les modifications des paramètres météo-marins. Dans la période 1949-1975, les dommages côtiers sont majoritairement localisés dans les secteurs nord-ouest et sud-ouest de la partie occidentale de la péninsule bretonne. Durant la seconde période, de 1976 à 1985, ce sont les côtes de la façade occidentale de la région qui sont les plus touchées. Enfin, au cours de la dernière période, de 1986 à 2004, on assiste à une extension vers l'est des secteurs affectés par les dégâts.

Conclusion

Au total, des similitudes d'évolution des orientations des vents de tempête, des résultantes des houles et de la localisation des dommages côtiers sur le pourtour de la Bretagne sont mises en évidence au cours du XX^e siècle. Le fait marquant est la tendance récente (depuis les années 1970-80) à une accentuation de la composante méridienne des vents de tempête et des houles dominantes parvenant sur ces rivages. Cependant, l'examen des évolutions antérieures des queues de comète permet de supposer, suivant le principe de Schou (*op. cit.*), que ce type de conditions a pu être observé à différentes reprises au cours des derniers siècles. Il apparaît notamment que le siècle dernier peut être divisé en quatre grandes phases successives durant lesquelles des conditions de flux météo-océaniques méridiens et zonaux alternent selon des durées, variables, de quelques décennies. Au regard de ces observations, la phase actuelle de renforcement des flux méridiens ne paraît donc pas exceptionnelle. Des incertitudes existent encore quant aux limites de chacune des périodes définies qui devront être précisées par un renforcement des informations, notamment sur les queues de comète et la localisation des dommages littoraux. Toutefois, les connaissances acquises sont particulièrement utiles à la définition du risque littoral et sa gestion future et pourraient, par ailleurs, servir de base à l'élaboration de modèles prédictifs des évolutions des conditions météo-océaniques régionales.

Références bibliographiques

- EUROSION, 2004, *Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability, part II, maps and statistics*, 25 pages.
- GUILCHER A., 1950, L'île de Béniguet (Finistère), exemple d'accumulation en queue de comète.. *Bulletin d'Information du C.O.E.C.*, 7, 243-250.
- HENAFF A., BODERE J.-C., 2001, Modifications récentes des apports biodétritiques littoraux : conséquences sur le budget sédimentaire des estrans du Massif armoricain. *Géomorphologie*, 1, 17-30.
- HENAFF A., 2004, Les aménagements des littoraux de la Région Bretagne en vue de leur défense contre l'érosion depuis 1949, *B.A.G.F.*, à paraître.
- LEMASSON L., REGNAULD H., 1997, Evolution trentenaire des vents littoraux sur le Grand Ouest français. *Norois*, 175, 417-431.
- LEROUX M., 2000, *La dynamique du temps et du climat*, Masson, Paris, 367 p.
- OTTERMAN J., ANGEL J.-K., ARDIZZONE J., ATLAS R., STARR D., WU M.-L., 2002, North Atlantic surface winds examined as the source of winter warming in Europe, *Geophysical Research Letter*, 29, 19-1912, 18.1-18.4.
- PINOT J.-P., 1989, L'évolution des côtes du Trégor et du Léon depuis le XVIIIe siècle, *Bulletin du Centre de Géomorphologie*, 36, 9-12.
- THE WASA GROUP, 1998, Changing waves and storms in the Northeast Atlantic, *Bulletin of American Meteorological Society*, 79, 5, 741-760.

**LE FLUX ENERGETIQUE SOLAIRE ET SON IMPACT
SUR LA PRODUCTIVITE DE LA VIGNE DANS LE VIGNOBLE
DE MINIS-MADARAT (ROUMANIE)**

G. Mahara¹, F. Vanc² et M. Duma²

¹ Université d'Oradea, Faculté d'Histoire et de Géographie,
Département de Géographie, Tourisme et l'Aménagement du territoire
e-mail : maharagheorghe@yahoo.com

² Station de Recherche-Développement pour la Viticulture et pour la Vinification Minis
Département d'Arad
e-mail : scminis@rdslink.ro

Abstract: The Energetic Solar Flow and Its Impact on the Productivity of the Wine from the Vineyard of Miniş-Mădărat. The present paper presents the impact of the solar energetic flow on the productivity of the wine from the vineyard of Miniş-Mădărat, situated at the contact area of the Zarand Mountains and the Arad Plain (Romania). The solar energetic entries in the wine-producing ecosystem of the vineyard were determined according to the direction of the hill slopes and according to the position of the leaf on a vertical and horizontal plan. The energetic entries translated into lux (lx) and in cal/cm²/min provide an average value of 66 387 lx (0,92 cal/cm²/min) having a maximum of 79800 lx (1,11 cal/cm²/min) and a minimum of 799 lx (0,01 cal/cm²/min) on the backdrop of an increased nebulosity and a thick layer of clouds. These values lead to the conclusion that the energy potential of the vineyard provide sufficient energy to the vine during a whole year of vegetation.

Key words: solar energetic flow, impact, wine-producing ecosystem

Introduction

La partie de l'ouest des Carpates Orientaux du territoire de la Roumanie présente des conditions pédo-climatiques favorables au développement de la vigne. Cela a déterminé l'apparition d'un vignoble qui, étant situé sur le territoire du département d'Arad, s'appelle le Vignoble d'Arad et se trouve entre les localités de Lipova et Pancota.

Le vignoble – une plante héliophile - bénéficie de sources d'énergie solaires importantes en ce qui concerne le vignoble Minis-Madarat. L'aire viticole du vignoble est orientée vers l'ouest et les versants sont exposés vers le sud et nord-ouest, les versants avec une exposition sud-sud-ouest sont dominants et favorisent l'ensoleillement pendant toute l'année.

Les entrées énergétiques solaires dans l'écosystème viticole du vignoble sont déterminées par l'état de l'atmosphère, le degré de nébulosité et par des processus de convection zonale ainsi que par l'advection sur les versants, du fait que les masses d'air se déplacent surtout sur l'axe scandinave (N-W) ou sur l'axe azorique (S-W), les premières transportant des masses d'air d'origine polaire sur l'axe azorique, les secondes véhiculant des masses d'air d'origine méditerranéenne, voire sahariennes. Les processus d'advection ne déterminent pas l'accentuation exagérée de la nébulosité dans le vignoble qui détermine la réduction du flux énergétique.

1. Méthode

Le bilan énergétique annuel (calculé selon la méthode de Budâko) est exprimé en kcal/cm². On a suivi les entrées énergétiques dans l'écosystème viticole à l'aide d'un appareil actinométrique avec lequel est daté la station vini-viticole de Minis. On a opéré les déterminations en fonction de leur exposition, pente, orientations des rangées du vignoble et de l'orientation des feuilles versus le plan vertical et horizontal. Pour illustrer les entrées énergétiques dans l'écosystème viticole on a réalisé le schéma de la figure 1.

2. Résultats et discussions

Pour la culture du vignoble, vue la spécificité de la plante, on doit respecter le principe « de la maximalisation du flux et de l'efficacité énergétique » (Odum, Odum, 1976), aspect réalisé par la forme d'orientation et le système de coupage avant le bourgeonnement. Les sources énergétiques pour l'écosystème viticole consistent dans : la radiation solaire directe, la radiation solaire reflétée, la radiation solaire diffuse, l'émission de l'atmosphère et dans une mesure plus réduite la radiation terrestre. Dans l'écosystème viticole, vu les travaux d'entretien du sol, la radiation reflétée par le sol est très importante aussi que la radiation solaire directe.

Selon la systématique /systématisation climatique de la Roumanie (Bedeu et al., 1983) le vignoble de Minis-Madarat peut être défini ainsi:

1. Région climatique : Collines et plateaux bas ;
2. Sous-région climatique : Collines Banato-Crișene ;
3. District climatique : Forêt ;
4. Topoclimat : complexe : collines et Piedmont, dépressionnaire

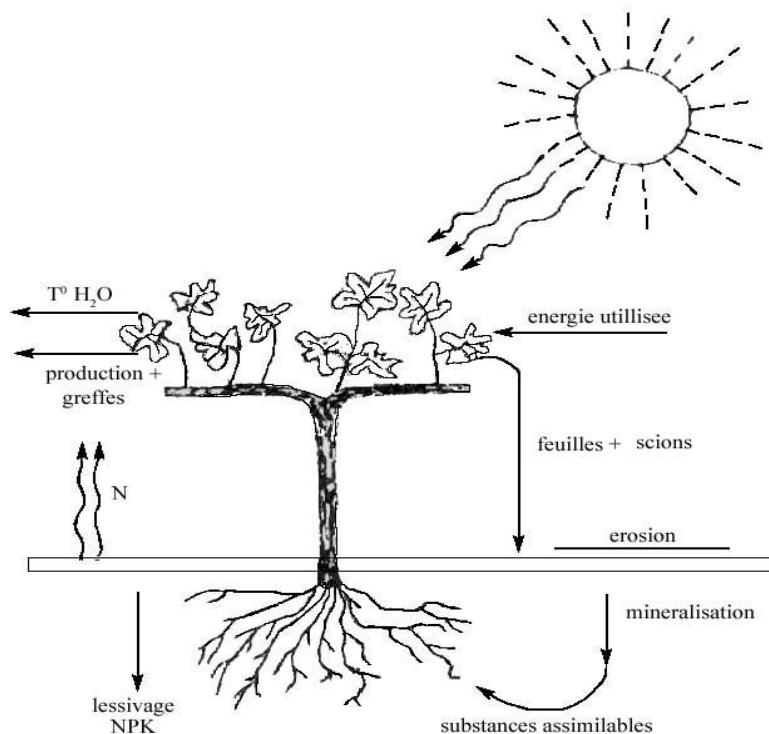
L'analyse de la dominante topoclimatique est caractérisée par 9 paramètres thermiques et 6 paramètres hydriques. Le topoclimat du vignoble est dominé par la Plaine Banato-Crișană (44,4 %), tout en contenant d'autres caractéristiques élémentaires topoclimatiques telles : des collines basses (16,7%), de littoral (11,1%) aussi que de plaine (La Plaine de la Roumanie), des plaines hautes et de la montagne (5,6%).

Les entrées énergétiques dans l'écosystème viticole se caractérisent par le flux lumineux (lx) et son équivalent énergétique (cal/cm² /min) qui est en moyenne de 66387lx (0,92 cal/cm²/min) et un minimum de 799 lx (0,01 cal/cm²/min) dans les conditions d'une nébulosité accentuée et une couche épaisse de nuages. La distribution du flux énergétique sur les versants, par rapport à leur exposition, détermine des entrées énergétiques différentes : les versants ayant une exposition vers le sud reçoivent 67667 lx (1,075 cal/cm²/min) et ceux ayant une exposition vers l'ouest 65200lx (1,068 cal/cm²/min) et ceux ayant une exposition vers l'est 45000 lx (1,010 cal/cm²/min). Le bilan énergétique annuel (calculé selon la méthode de Budâko) est de 15,1 Kcal/cm².

Le circuit énergétique dans l'écosystème viticole du vignoble de Minis-Madarat est illustré dans la figure 1. Les entrées énergétiques dans l'écosystème viticole se reflètent dans les accumulations dans la plante au niveau des éléments souterrains et de surface (feuilles, jeunes descendants/scions, grappes). Une partie est utile à l'homme et l'autre partie entre dans le cycle biogéoclimatique constituant la base nutritive pour le prochain cycle végétatif.

La capacité de la feuille de capter l'énergie est très importante pour la conversion de l'énergie solaire dans l'écosystème viticole. De cette manière la recherche du flux énergétique sur une aire de foliation donnée est évidente par le fait qu'une partie de la radiation incidente est reflétée et une autre partie passe par la feuille par la transparence et la plus grande partie est retenue, de sorte que 8,9% du flux lumineux est reflété, 18,9% se perd par la transparence de la feuille et 72,7% est retenue par la feuille, représentant 0,76 cal/cm²/min.

Fig.1. : Le cycle biogéoclimatique et énergétique dans l'écosystème viticole (Vanc, 1986).



La captation énergétique diffère selon la forme d'orientation, selon la position de la feuille sur la vigne, selon l'orientation de la feuille dans un plan horizontal/vertical ainsi que selon la position physico-géographique de la plantation. En fonction de la position de la feuille sur la vigne, en horizontal, la feuille au-dessus de la vigne capte 68,9% du flux lumineux, celles qui se trouvent dans le secteur de l'ouest 77,0 % et celles orientées vers l'est 70,7 % et celles dans la vigne 7,07 %. L'orientation des rangées des vignobles dans la plantation est un facteur déterminant principal pour la captation énergétique, l'orientation étant déterminée par le relief (la pente et son orientation, tout en tenant en compte les principes terminologiques de la conservation du sol et les mesures contre l'érosion imposées).

Comme résultat des entrées énergétiques dans l'écosystème, les accumulations énergétiques atteignent 133.155 cal dans les feuilles, dans les jeunes descendants 125.595 cal et dans les grappes 52.965 cal desquels 8308,22 cal représentent l'accumulation de glucose.

L'accumulation énergétique dans la feuille, la principale productrice de substances assimilées, et dans les jeunes descendants et dans les grappes à condition que ceux-ci contiennent des pigments assimilateurs est fonction de la position angulaire par rapport à l'horizontale et à la direction du nord. Cette accumulation est évidemment reflétée par le coefficient de l'emploi de la lumière (tab. 1).

Tab. 1 : La captation énergétique de la feuille par rapport à sa position sur la vigne

La position de la feuille sur la vigne		La captation énergétique cal/cm ² /min	Le coefficient de l'emploi de la lumière
Dans un plan vertical	Envers le nord		
60° (presque vertical)	15°N (N)	0,04	8,94
50°	113°N (SE)	0,75	88,27
20°	105°N (SE)	0,83	92,74

L'efficacité de l'accumulation énergétique au niveau de l'appareil assimilateur (feuille) est strictement dépendante de l'orientation dans un plan vertical et envers la position nordique de la feuille, notamment la route du soleil sur la voûte céleste, le moment de la journée et le degré de nébulosité. Dans les accumulations énergétiques de l'écosystème viticole, l'espèce est importante par la capacité induite génétiquement de stockage et conversion énergétique. Les recherches menées sur plusieurs espèces prouvent que l'espèce Merlot est très efficace par sa capacité d'accumulation énergétique qui accumule dans les feuilles 146,16 Kcal dans les jeunes descendants 140,63 Kcal et dans les grappes 67,73 Kcal.

Conclusions

Le potentiel énergétique résulte de l'ensoleillement. La superficie topoclimatique spécifique au vignoble Minis-Madarat offre au vignoble la quantité d'énergie nécessaire pendant une année de végétation. Les accumulations énergétiques et leur efficacité se reflètent surtout dans la qualité de la production de raisins (accumulations en sucre et équilibre d'acide).

Références bibliographiques

- BOTNARIUC, N., VĂDINEANU, V., 1982: Ecologie, Ed. Did. și Pedag., București.
- CELAN, E., 1985: Materia vie și radiațiile, Ed. Șt și Enciclop, București
- MARCU, M., 1983: Meteorologie și climatologie forestieră, Ed. CERES, București.
- ODUM, H.T., 1998: Maxim Power , University Press of Colorado, USA.
- TELFER, W.H., KENNEDY, D., 1986: Biologia organismelor, Ed. Șt și Enciclop., București.
- ȚÂRDEA, C., DEJEU, L., 1995: Viticultură, Ed. Did. și Pedag., București.
- VANC, F., 1986: Ecosistemele viticole, Referate generale prezentate în plenul celei de-3-a Conferințe de ecologie, IPBT Arad.
- VANC, F., CIOCAN MARGARETA, VANC ANTIȚA, 1999: Determinismele intrărilor energetice în ecosistemul viticol din versanții vestici ai Munților Zarandului, Lucrările zilelor Academice Arădene, Ed. Univ. V. Goldiș, Arad.
- VANC, F., DUMA, M., VASILOIU, M., 2002: Intrările energetice în ecosistemul viticol la nivel foliar, Lucrările Sesiunii de comunicări științifice ICVV Valea Călugărească.

ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE DANS LE NORD OUEST ALGERIEN. IMPACT SUR LE RENDEMENT DES CEREALES

*M. Meddi **, *K. Ketrouci *** et *A. Matari ****

* LRERP – Khemis Miliana University – Algérie
e-mail : mmeddi@yahoo.fr

** Mascara University – Algérie

*** IHFR – Oran - Algerai

Résumé : Nous avons étudié la variabilité de la pluviométrie dans le Nord-Ouest Algérien. Nous avons remarqué une baisse des volumes précipités à partir de la décennie 80. Cette diminution est due principalement à la baisse de la pluviométrie des mois d'hiver. Egalement, nous avons trouvé une relation directe entre la pluviométrie et le rendement du blé dur.

Mots clés : variabilité, pluviométrie, rendement, nord-ouest, Algérie

Abstract: We studied the variability of pluviometry in the North West of Algeria. We noticed a fall of the precipitated volumes from decade 80. This reduction is due mainly to the fall of the winter pluviometry. Also, we found a direct relation between the pluviometry and the cereal farming production.

Key Words: variability, rainfall, cereal production, North-West, Algeria

Introduction

L'Algérie et surtout l'Ouest, a connu plusieurs grandes sécheresses durant le 20^{ème} siècle, les années 1940 et les années 1980 jusqu'à nos jours (Matari et al., 1999; Meddi et al., 2000 ; Meddi et al., 2002 ; Meddi et al., 2003). Dans cette optique, nous proposerons d'étudier la variabilité de la pluviométrie et la relation entre cette dernière et les rendements de blé dur dans le Nord-Ouest Algérien.

1. Situation géographique

La zone d'étude est située dans la partie Ouest de 10 de longitude et au Nord de 330 de latitude (fig. 1). Elle englobe les bassins versants de la Tafna, de la Macta, du bassin des cotiers oranais et une partie du bassin du Chelif.

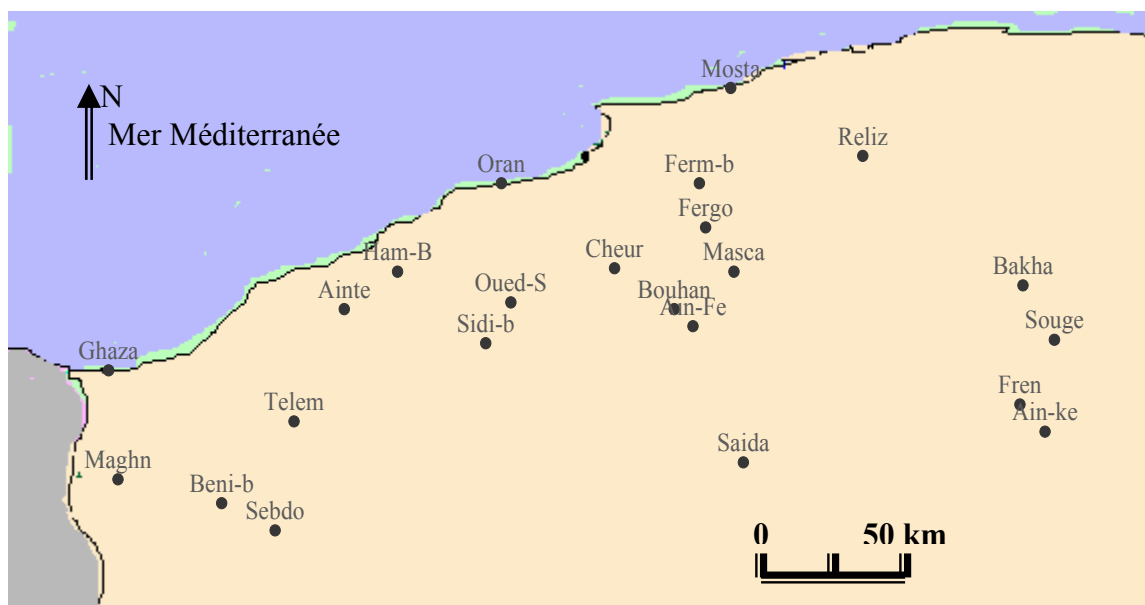
2. Variabilité inter-annuelles des pluies

Pour étudier la variabilité inter-annuelle, nous avons axé notre travail sur trois stations qui sont considérées comme stations types, chacune décrit une zone plus au moins homogène de notre région d'étude (Mascara, Maghnia et Sougeur). Ces trois stations possèdent 48 années d'observations (1950-1998). Le rapport entre l'année la plus humide et l'année la plus sèche peut être supérieure à 4 (tab. 1); le coefficient de variation représente bien cette variabilité et peut dépasser les 30%. Pour une analyse plus détaillée, nous allons caractériser la variabilité inter-annuelle par les variables centrées réduites des totaux annuels des trois stations. On remarque la concordance des années déficitaires des trois stations. Les excédents pluviométriques correspondent à l'année 1973-1974 pour la station de Maghnia, l'année 1969-1970 pour la station de Sougeur et 1962-1963 pour la station de Mascara. Le déficit maximum sur les 48 années d'observations correspond aux années 1987/88, 1983/84 et 1981/82 aux stations de Maghnia, Sougeur et Mascara respectivement. Cette analyse confirme l'apparition et la persistance d'une sécheresse durant les deux dernières décennies (Meddi et al., 2000 ; Meddi et al., 2002 ; Meddi et al., 2003).

Tab.1 : Analyse des précipitations inter-annuelles à Mascara, Sougeur et Maghnia (période d'étude 1950-1998)

station	maximum	minimum	écart type	moyenne	médiane	Coefficient de variation
Sougeur	612.4	140.4	103.4	344.1	337.7	30%
Maghnia	747.7	189.4	135.8	389.3	372.9	34.9%
Mascara	786.02	196.5	134.4	444.6	440.1	30.2%

Fig. 1. : Localisation des stations retenues



3. Etude de la variabilité intra-annuelle

Nous étudions à présent la variabilité des précipitations mensuelles. En effet, on se demande si la baisse pluviométrique mise en évidence précédemment est due à une saison donnée, ou si elle a touché l'ensemble des mois. Un déficit hydrique n'aura pas les mêmes conséquences sur l'agriculture, particulièrement le rendement des céréales selon qu'il intervient au début de la campagne ou pendant la phase de reproduction des fruits. Pour connaître s'il existe une éventuelle relation entre les changements dans le régime pluviométrique des dernières décennies et la baisse de la pluviométrie d'un mois spécifique, nous allons comparer deux périodes de vingt quatre ans successives à savoir 1950-1951 à 1973-1974 et 1974-1975 à 1997-1998. Le choix de ces deux périodes a été fait selon les données disponibles. Deux paramètres statistiques ont été utilisés pour effectuer cette comparaison, la moyenne et la médiane. Ces deux paramètres de tendance centrale ne sont pas statistiquement différents dans le cas de distributions symétriques. Mais comme plusieurs travaux réalisés dans ce sens montrent que les distributions mensuelles sont dissymétriques, (Bouacheria, 2000), il nous a paru judicieux de les considérer toutes les deux. L'analyse mensuelle des précipitations pour les trois stations étudiées montre que l'ampleur de la variation de ces dernières est très nette entre les deux périodes précitées. Les trois stations représentent une pluviométrie plus abondante sur la première période que la seconde. Ceci confirme les résultats obtenus par les études évoqués auparavant.

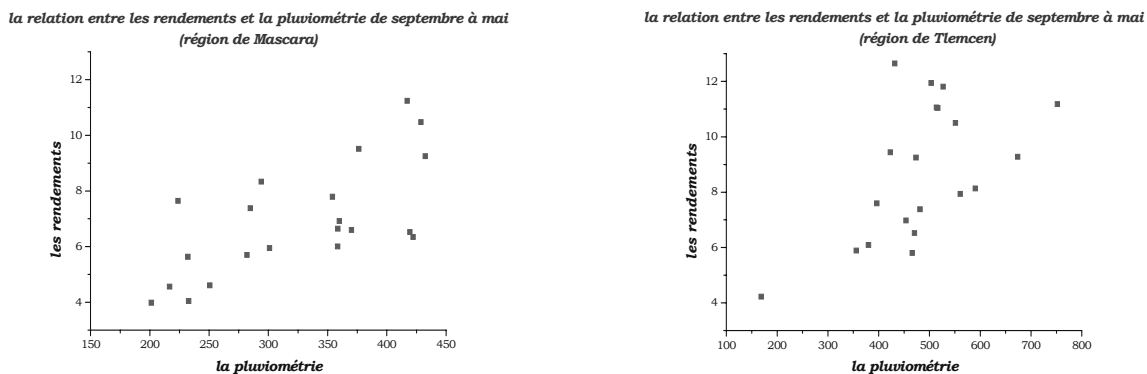
Pour la station de Maghnia, les mois de décembre et de janvier, aussi bien sur les moyennes que sur les médianes, sont devenus moins pluvieux sur la deuxième période. Par contre le mois de février est devenu plus pluvieux pour la seconde période. Pour le reste en remarque une bonne concordance sur les deux périodes surtout le mois d'avril et les mois de la saison d'été. La station de Mascara représente presque le même comportement que Maghnia, c'est-à-dire, la pluviométrie des mois de décembre et de janvier est devenue moins abondante sur la deuxième période. Par contre le mois de mars est devenu le plus pluvieux durant les deux dernières décennies pour cette station. Pour la

station de Sougeur la différence entre les deux périodes n'est pas nette, mais on peut dire également que les mois de décembre et de janvier représentent les mois les plus pluvieux pour la première période, et le mois de février pour la seconde période.

4. La relation entre les rendements et la pluviométrie

Le total pluviométrique pris en compte est le cumul de septembre à mai. En étudiant cette relation, on a constaté qu'il existe tout de même une relation entre ces deux paramètres pour l'ensemble des régions. Donc, les résultats de cette analyse confirment la baisse des rendements observés par les spécialistes ces dernières années. Pour les quatre régions d'étude, le nuage de points représentant la relation rendement-pluie montre que le rendement varie d'une façon croissante avec la pluviométrie (fig. 2).

Fig. 2 : Représentation des rendements en fonction de la pluviométrie pour la région de Mascara et Tlemcen



Conclusion générale

L'étude de la variabilité des précipitations à partir des variables centrées réduites des totaux annuels, a été faite sur trois stations représentatives (Mascara, Maghnia et Sougeur). Cette analyse a mis en évidence la succession de deux phases, un long épisode globalement pluvieux qui s'est étendu entre le début des années 1950 et la fin des années 1970, une période globalement déficitaire, qui aurait commencé au début des années 1980 et qui persiste jusqu'à nos jours.

La représentation graphique de la chronologie des séries de rendements montre que ces dernières ont une tendance à la hausse. A notre avis cette tendance se réfère aux progrès accomplis en matière de techniques culturales. Après la correction de cette tendance anthropique, nous avons analysé la relation rendement-pluie qui a confirmé la baisse des rendements et montre la relation existante avec les précipitations même si plusieurs éléments climatiques contribuent à la valeur de ces derniers.

Références bibliographiques

- Bouacheria N., 2000. Etat de la pluviométrie en période de sécheresse sur quelques stations d'Algérie. mémoire d'ingénieur, I.H.F.R, Algérie 2000.
- Matari A., Kerrouche M., Bousid H., Douguedroit A., 1999. Sécheresse dans l'ouest algérien . publications de l'association internationale de climatologie , volume 12, 1999.
- Meddi M., Humbert J.,2000. Variabilité pluviométrique dans l'ouest Algérien durant les cinq dernières décennies. 13ème colloque de l'Association Internationale de climatologie. 6 au septembre 2000 Nice, France.
- Meddi M., Humbert P., Bendjoudi H., 2002. Evolution du régime pluviométrique du Nord-Ouest de l'Algérie. L'eau dans le bassin méditerranéen : ressources et développement durable Monastir, Tunisie, 10-12 octobre 2002.
- Meddi M., Humbert P., Bendjoudi H.,2003. Impact du changement du régime pluviométrique sur les ressources en eau dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides, 1-4 avril 2002, Montpellier, France.

**LA DEFINITION DE PAYSAGES INTRA-URBAINS
COMME BASE POUR L'ETUDE DU CLIMAT URBAIN :
UNE PROPOSITION METHODOLOGIQUE**

F. Mendonça

UFPR – Laboclima. C. Polytechnique – J. Americas, Brésil.

e-mail : chico@ufpr.br

Resumé : Pour l'étude du climat urbain il est proposée une méthodologie basée sur la définition de "paysages intra-urbains" comme première étape de la recherche. Pour cette définition il est nécessaire de prendre en compte les aspects naturels du site et les aspects sociaux de la ville.

Mots-clefs : Climat – urbain – cartographie. - paysage

Abstract: To the urban climate study a methodology based on the "intra-urban landscapes" definition is proposed as the first step to the research. To that definition its necessary involves the cartography of natural and social aspects of the city.

Key-words: Climate – urban – cartography – landscape.

Généralités

L'étude du climat des villes constitue un domaine d'intérêt de la recherche en climatologie. La majorité des recherches relevant de ce champ d'études travaille dans la perspective de la comparaison entre l'atmosphère modifiée par la ville – atmosphère urbaine et celle de la zone rurale contiguë. Peu d'entre elles, cependant, se sont fondées sur le détail préalable des différences de site et d'usage du sol urbain pour comprendre la formation du climat qui découle des différentes organisations spatiales de la ville.

La formation de conditions climatiques intra-urbaines, due directement à l'hétérogénéité tant de la structure et de la fonctionnalité urbaines, provoquant, parallèlement au climat urbain (climat local/urbain), des sous-types climatiques intra-urbains différenciés (île de chaleur, île de fraîcheur, microclimats) demande une encore plus grande attention de la part des spécialistes en climat urbain.

Quand on considère le corps urbain comme un tout dans l'étude du climat, en y traçant des isolignes comme le font la majorité des études jusqu'à aujourd'hui, on généralise amplement des valeurs ponctuelles pour des zones géographiquement différentes. La présente proposition méthodologique vise, en découpant le corps de la ville en secteur géo-écologiquement moins hétérogènes, identifier les environnements urbains à caractéristiques climatiques le plus semblables possibles comme première étape de l'étude du climat urbain. C'est seulement suite à cette étape que sont définis les points et réalisés les relevés des données.

1. L'analyse spatiale

L'analyse spatiale se base sur le relevé de données directement et indirectement. Les données relevées de sources cartographiques, bibliographiques et culturelles qui se réfèrent à la ville – source indirecte, permettront de caractériser la localisation, la structure, la morphologie et la fonction urbaine.

Le fondement cartographique proposé se compose de six cartes qui, complétées grâce aux données venant du relevé indirecte, permettront de caractériser de manière détaillée la réalité étudiée. Une partie de la cartographie représente des détails de la localisation urbaine proprement dite (hypsométrie-géomorphologie, déclivités et orientation des versants et direction et vitesse des vents) et, l'autre partie représente les caractéristiques du fait urbain (usage du sol, en particulier les aspects

morphologiques, fonctionnels et structurels de la ville) – Mendonça, 1995. Cette caractérisation permettra, grâce à l'emploi d'un GIS, de découper la zone urbaine en secteurs de "paysages intra-urbains" différenciés et, ensuite de définir les endroits où les données seront relevées.

1.1 Hypsométrie et géomorphologie

Avec une carte hypsométrique, on peut observer tant la variation altimétrique que les principales caractéristiques géomorphologiques du relief du site choisi pour l'étude, qui sont des facteurs très importants dans la constitution du climat urbain, car les éléments du climat sont directement influencés par le relief. L'étude de ce type d'influence représente un des champs connus de la climatologie (Gustavson, 1990 ; Geiger, 1990). Plus le mouvement et la variation altimétrique du relief d'un site urbain déterminé est grand, plus les variations, entre autres, en termes de température et d'humidité du climat local, urbain et intra-urbain, sont importantes. La richesse des détails de ce document cartographique variera en fonction de la propre spécificité du site urbain choisi pour l'étude. Outre la carte hypsométrique et géomorphologique du site urbain, il est pertinent d'élaborer aussi une carte qui englobe la région ou, du moins, qui situe le site urbain dans son contexte géomorphologique régional. Une carte de cette dimension facilitera l'analyse de la dynamique régionale et l'identification des principaux mécanismes atmosphériques de cette grande échelle en tant qu'éléments formateurs du climat urbain.

1.2 Déclivité des pentes

La variation de l'inclinaison des pentes d'un lieu déterminé, associée à l'orientation de ces derniers, joue un rôle important dans la définition de sous-types de climat urbain (Geiger, 1990). Le flux radiatif d'une pente assez inclinée et orientée vers le nord en zone subtropicale australe et en latitudes supérieures sera bien plus intense que celui d'une autre pente, de même inclinaison et dans le même endroit, orientée vers le sud. De même, l'ombrage des immeubles et des arbres, entre autres, sera beaucoup plus significatif dans les zones horizontales que dans les zones inclinées du même endroit, orientées vers le nord.

1.3 Orientation des pentes

Dans le bilan d'énergie, la disposition des pentes peut influencer la superficie du sol. Plus le site étudié est éloigné de l'Équateur, plus cette influence est remarquable. La petite variation saisonnière de l'ensoleillement de la bande intertropicale de la planète diminue considérablement l'effet de l'orientation des pentes dans la formation des conditions topoclimatiques de cette zone, à l'inverse des autres régions du globe. Cependant, des études réalisées depuis les années cinquante en zones tropicales ont mis en évidence l'existence d'une plus grande variation thermique des murs que de la superficie de ces zones, contrairement aux zones tempérées. Plus on se rapproche de l'Équateur, plus les murs orientés vers le nord et vers le sud, tout comme les pentes, présentent une variation thermique plus grande que ceux qui sont orientés vers l'ouest et vers l'est. L'association de la déclivité de la pente et de son exposition au soleil est fondamentale pour comprendre la variation de son bilan d'énergie.

1.4 Direction et vitesse des vents de surface

Les vents jouent un rôle très important dans la définition climatique à toutes les échelles de l'approche climatique. L'identification du mouvement de l'air régional et local lors de l'étude du climat au niveau de l'échelle méso, topo et micro est fondamentale pour une approche dynamique du climat. Plusieurs études montrent l'influence de la dynamique de l'air dans la formation du climat urbain, en particulier dans l'effet "île de chaleur" et dans la dispersion de la pollution. Une carte des conditions prédominantes des vents dans la ville facilite de beaucoup la pré-définition approximative des climats urbains de la zone étudiée.

1.5 L'usage du sol

Grâce à la représentation cartographique de l'usage du sol, il est possible d'identifier les éléments qui intègrent l'espace urbain responsable de la formation du(des) climat(s) urbain(s). Une carte de l'usage du sol pour étudier le climat urbain devra mettre en relief les caractéristiques formatrices de la ville et de ses environs tels que: la structuration urbaine, la disposition verticale (hauteur des constructions) et

horizontale (densité) des bâtiments, la distribution des zones vertes, l'asphaltage, les superficies liquides, la frontière urbano-rurale et, si possible aussi, les aspects de la fonctionnalité urbaine et la coloration des bâtiments. On doit chercher à détailler au maximum cette carte, sans pour autant tomber dans la complexification ou l'illisibilité de cette dernière.

1.6 Le découpage en secteurs de l'environnement urbain

Grâce à l'analyse de chaque carte élaborée, il est possible d'arriver à une compartimentation du site et de l'usage du sol urbain. Traitées sur SIG, ces cartes permettent de découper l'environnement urbain en secteurs porteurs de caractéristiques approximativement homogènes. Le découpage en secteur de l'environnement urbain à partir du fondement cartographique a pour objectif essentiel de le compartimenter géographiquement. Ce travail est très important dans cette étape de la recherche, car il permettra d'identifier préalablement les éléments qui composent l'environnement urbain, directement responsables de la formation du climat de la ville. C'est principalement cette particularité, qui consiste à découper préalablement l'environnement urbain en secteurs homogènes et à se baser sur ce découpage pour étudier le climat urbain qui différenciera nettement la présente proposition méthodologique de celles qui ont été diffusées jusqu'à présent.

2. La définition des points pour le relevé des données

La définition des points pour le relevé des données météorologiques de l'environnement urbain est élaborée à partir de la caractérisation géographique des différents environnements urbains, en se basant sur la sectorisation de la ville en "paysages intra-urbains", ainsi que sur un contrôle du travail de terrain. Les zones et les points doivent être définis de manière à représenter la plus grande différenciation possible des diverses zones de la ville. Le choix des points doit aussi prendre en considération le modèle de Trenkle (Imamura-Bornstein, 1991) qui a pris en compte l'influence de l'effet de l'ombrage et la variation différenciée de l'énergie solaire pour les superficies des canyons. Les données doivent être relevées dans l'ensemble de la ville (réseau de points, profils) et dans les différents environnements urbains (ou secteurs), prenant en compte les différences saisonnières et quotidiennes, utilisant des mini-abris météorologiques mobiles ou mini-stations météorologiques automatiques, des données d'origines météorologiques officielles et l'emploi d'images satellites (Cantat, 1987 ; Mendonça, 1995).

Références bibliographiques

- CANTAT, O. Télédétection spatiale et microclimats - Le cas de la région d'Île de France. Paris : IAURIF, 1987.
- ESOURROU, G. Le climat et la ville. Paris: Editions Nathan, 1991.
- GEIGER, R. Manual de microclimatologia - o clima da camada de ar junto ao solo. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2a ed., 1990.
- GOSSMAN, H. The influence of geography on local environment as inferred from night thermal infrared imagery. Remote sensing reviews, v.1, pt. 2, p. 249-276, 1986.
- GUSTAVSON, T. Variation in road surface temperature due to topography and wind. Theoretical and applied climatology, n. 41, p. 227-236, 1990.
- HENDERSON-SELLERS, A. and ROBINSON, P.J. Contemporary climatology. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- IMAMURA-BORNSTEIN, I.R. Observational studies of urban heat island characteristics in different climate zones. Tsukuba, 1991. 156 p. Phd These (Doctors level) - University of Tsukuba.
- MENDONÇA, F.A. O clima e o planejamento de cidades de porte médio e pequeno : Proposição metodológica e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. São Paulo: USP, 1995. Tese de doutorado (inédita).
- MONTEIRO, C.A.F. e MENDONÇA, F. Clima urbano. São Paulo: Contexto, 2003.
- OKE, T.R. Boundary layer climate. London: Methuen & CO, 1978.

STRUCTURES SPATIO-TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES AU CONGO BRAZZAVILLE (1950-1994)

M. Mpounza et H. B. Goma-Boumba

Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Université Marien Ngouabi, Brazzaville Congo
e-mail : mpounza@yahoo.fr

Résumé : L'analyse de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie pour la période 1950-1994, montre que le Congo-Brazzaville connaît depuis le début des années 1980 un déficit pluviométrique. L'objectif de cette étude est de rechercher les structures spatio-temporelles des précipitations journalières (1950-1994), dans le but de détecter la longueur des épisodes pluvieux et/ou secs (jours sans précipitations), ainsi que les changements susceptibles d'affecter l'évolution des précipitations. Les caractéristiques des pluies journalières au Congo-Brazzaville, au sein des saisons dites pluvieuses, par exemple, montrent une évolution marquée par des « apports journaliers » et « des sécheresses climatiques intercalaires » voisines en octobre, novembre, décembre, mars, avril et mai. Les stations du nord du Congo ont un apport journalier relativement plus grand et des sécheresses intercalaires moins longues que celles du sud. La distribution de la pluviométrie annuelle prise par rapport au nombre de jours de pluie entre 1950-1994, présente des résultats divers selon les espaces :- augmentation de la fréquence des épisodes sans pluie en période pluvieuse ; - stabilité des épisodes pluvieux.

Mots clés : Congo-Brazzaville, Précipitations journalières, épisodes pluvieux et non pluvieux.

Abstract: The analysis of the spatio - temporal of rainfall variability from 1950 to 1994, demonstrates that the Congo-Brazzaville has been experiencing the rainfall deficit since 1980. The aim of this survey is to investigate the spatio-temporal structures of daily precipitations (1950-1994), in order to point out the rainy or dry episode length (no precipitation days) and eventual changes that can affect the evolution of precipitations. The daily rain characteristics in the Congo-Brazzaville, within the so-called rainy seasons, for instance, they show a considerable progress (evolution) through “daily contributions” and “inset climate dryness” as on October, November, December, March, April and May. The northern Congolese stations have a relatively great daily contribution and a less long inset dryness than the southern ones. The annual distribution of rainfall considered in reference to the number of rain per day between 1950 and 1994 points out various results according to spaces i.e. the increase of no day rain frequency during the rainy period, rainy episode stability.

Key words: Congo - Brazzaville, daily precipitations, rainy episodes and rainy not.

Introduction

L'évolution des précipitations journalières reste donc, un des points important pour caractériser le climat, et le climat du Congo en particulier, en relation avec l'agriculture où les cultures sont essentiellement pluviales. La prise en compte de la structure temporelle des occurrences des précipitations journalières est nécessaire à la description du microclimat d'une localité ou du climat local. Les occurrences des jours avec ou sans pluie représentent un élément pertinent dans la description des caractéristiques climatiques, notamment dans la détection du début de la saison pluvio-agricole. Les travaux de Samba et al, (1999), et de Goma Boumba (2003) sur les occurrences des précipitations journalières ont permis de définir les saisons de pluies potentiellement utiles (SPPU). Ce travail va permettre de contribuer à la modélisation et à la caractérisation l'organisation de la saison des pluies.

1. Données et méthodes

Cette étude a pour base, les relevés des totaux pluviométriques journaliers de 13 stations synoptiques du Congo. Le nombre annuel de jours de pluie est également utilisé. Les données pluviométriques journalières ont été extraites de la base de données du CRTH. La procédure de cette étude est en partie basée sur la comparaison des phénomènes observés entre les stations. On ne cherchera donc pas d'emblée à corrélérer les stations entre elles, ni à définir une valeur moyenne régionale des paramètres étudiés. Tout au plus, on classera les stations étudiées, dans deux principaux domaines climatiques.

2. Résultats

Pour rechercher la signature d'une modification climatique au Congo, nous avons analysé la pluviométrie journalière des stations. Par comparaison entre les périodes 1950-1969 et 1970-1994, on constate qu'après 1970, le nombre annuel de jours de pluie baisse dans le Nord du Congo et reste relativement stable dans le sud. La structure de la saison des pluies a été modifiée, le nombre de jours de pluie n'a pas augmenté significativement après 1970. Les stations du nord du Congo ont un apport journalier relativement plus grand et des sécheresses intercalaires moins longues que celles du sud. La distribution de la pluviométrie annuelle prise par rapport au nombre de jours de pluie entre 1950-1994, présente des résultats divers selon les stations. Les occurrences des précipitations journalières ont une distributions spatiales hétérogènes : - augmentation de la fréquence des épisodes sans pluie en période pluvieuse ; - stabilité des épisodes pluvieux. Sur les figures 2 et 3 sont reportées le total de nombre de jours pluvieux et de jours secs des différentes stations pour la période d'étude.

Fig. 1 : Nombre de jours pluvieux dans les différentes stations du Congo

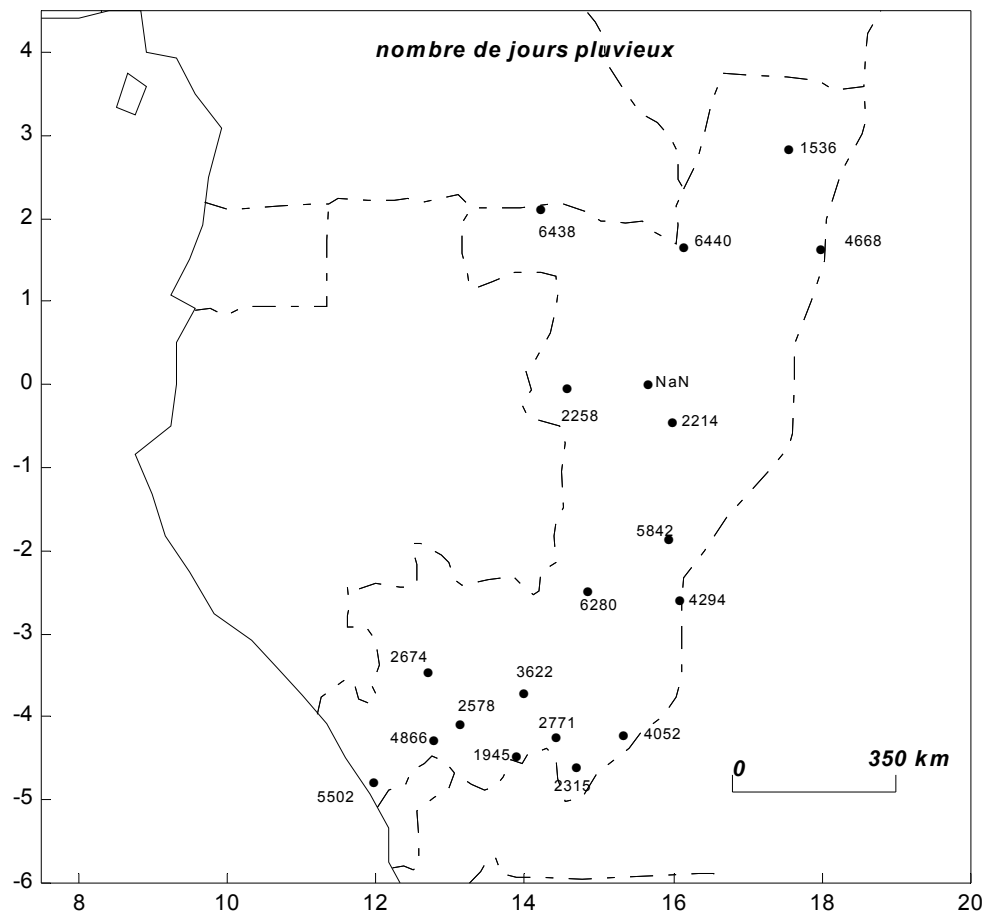
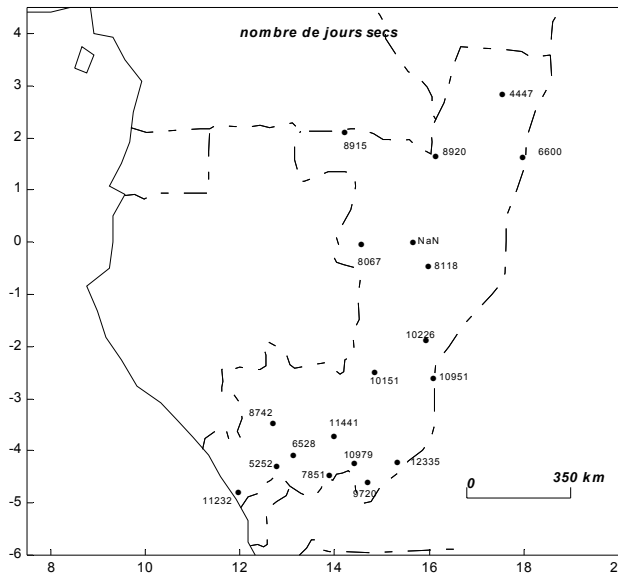


Fig. 2 : Nombre de jours sans pluies dans les stations du Congo



Le total de jour pluvieux est relativement plus important au nord du Congo qu'au sud. La répartition spatiale des valeurs du total de nombre de jours secs sont crescendo du nord le secteur le plus humides (6 à 8000 jours secs) vers le sud, la région la plus sèche (plus de 10 000 jours). Cependant l'axe de la vallée du Niari (stations axe Makabana-Mfouati) et le plateau des Cataractes (Boko) connaît aussi de faible nombres de jours secs 5 000 à 9000. Les jours de pluie sont inférieurs aux jours secs sauf à Loubomo où ses valeurs se rapprochent. La séquence la plus longue de jours de pluie consécutifs s'observe à Souanké et Ouesso (plus de 30 jours) dans la partie humide, au nord Congo. La partie sud montre des séquences non pluvieuses les plus longues, avec plus de 150 jours consécutifs sans précipitation. Bien que la séquence la plus longue de jours secs est observée à Kellé, avec 185 jours sans pluie. Par contre la répartition spatiale des séquences maximales de pluie a une composante est-ouest, c'est-à-dire sur les plateaux Batéké on retrouve les successions les plus courtes de jours de pluie. Les séquences des jours de pluies les plus longues sont observées dans la partie sud moins humide.

L'étude des ruptures dans les séries des fractions de pluie par le test non paramétrique de Mann-Kendall nous donne plus de détails quant aux caractéristiques des ruptures observées. Sur la période étudiée, il existe une rupture dans les séries pluviométriques de cette région. Une rupture correspondant à une forte baisse du total pluviométrique est située entre 1962 et 1970. Cette rupture n'est pas délimitée précisément dans le temps et semble s'étaler sur une période plus longue. La dernière rupture observée vers 1980 à 1982 est plus franche et rapide, mais il convient de ne pas considérer ces dates comme rupture pluviométrique survenue au cours des années 1970.

Conclusion

Par comparaison entre les périodes 1950-1969 et 1970-1991, on constate qu'après 1970, le nombre annuel de jours de pluie baisse pour quatre stations et reste stable pour les deux autres.

Références bibliographiques

GOMA BOUMBA H., 2003 : La pluviométrie journalière au nord Congo, mémoire de maitrise, Centre de Recherches sur les Tropique Humides, Département de géographie, Université Marien Ngouabi, Brazzaville (Congo), 70p.

SAMBA G., MALOBA MAKANGA J. D. ET MBAYI R., 1999 : Les saisons des pluies sur les plateaux Batéké et le plateau des Cataractes. Publications de l'Association Internationale de climatologie, vol. 12, pp 1990-197.

BILAN RADIATIF ET BILAN D'ÉNERGIE DANS UN CANYON URBAIN

**G. Najjar¹, P.P. Kastendeuch², M.P. Stoll¹, J.R. Colin¹, F. Nerry¹, N. Ringenbach¹,
J. Bernard¹, A. De Hatten¹, R. Luhahe¹, D. Viville²**

¹ Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection
(UMR 7005 ULP/CNRS) Pole API
e-mail : najjar@equinoxe.u-strasbg.fr

² Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517 ULP/CNRS)
Université Louis Pasteur, Strasbourg

Résumé : Une campagne de mesures en climatologie urbaine a été réalisée durant l'été 2002 à Strasbourg. Un échafaudage installé dans une rue a permis de réaliser des mesures continues de différents paramètres météorologiques sur quatre niveaux. L'objectif étant de documenter les différents processus physiques qui interviennent dans l'élaboration du microclimat à l'intérieur d'un canyon urbain.

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

Abstract: A measurement campaign in urban climatology was carried out in Strasbourg area during the summer 2002. A scaffolding was installed in a street with four measurement levels of meteorological parameters to describe the physical processes and model the radiation and energy balance in an urban canyon.

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

Introduction

Le présent exposé décrit les mesures et les premiers résultats obtenus lors de la campagne expérimentale réalisée à Strasbourg durant l'été 2002 (Najjar et al. 2002, 2004) dans le cadre du projet RECLUS (Rayonnement et bilan d'Énergie en CLimatologie Urbaine à Strasbourg). L'un des principaux objectifs de cette expérimentation était de documenter les bilans radiatif et d'énergie à l'échelle du canyon urbain. Pour ce faire, une rue, orientée NNE-SSW et ayant un rapport Hauteur / Largeur proche de 1, a été instrumentée moyennant un échafaudage de 22 m de hauteur et 4 niveaux de mesures. Chaque niveau a été équipé pour évaluer la température, l'humidité, la turbulence et les composantes du rayonnement. Le dernier niveau comportait en plus un dispositif de mesures des flux de chaleur sensible et latente.

1. Résultats et analyses

1.1 Les composantes du rayonnement solaire

Les analyses présentées dans cet exposé ont toutes été menées pour une journée de ciel clair et de vent faible. La figure 1 montre les composantes incidente, réfléchi et diffuse du rayonnement solaire mesuré à l'horizontal et à deux niveaux : au sommet et à la base de l'échafaudage. Lorsque le soleil éclaire l'axe du canyon, le rayonnement global incident est équivalent aux deux niveaux. Par contre le fond du canyon présente un déficit notable d'éclairement le matin et le soir en raison du masque des bâtiments. En ce qui concerne le rayonnement réfléchi par le fond du canyon, il est uniquement supérieur à celui du sommet pendant la période où le fond du canyon est éclairé.

Fig. 1

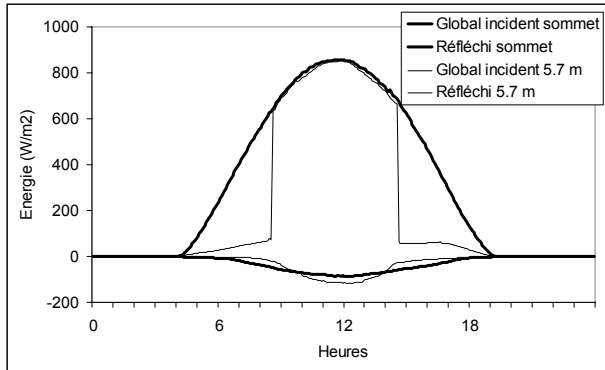
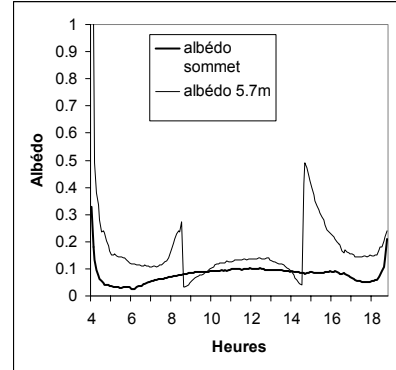


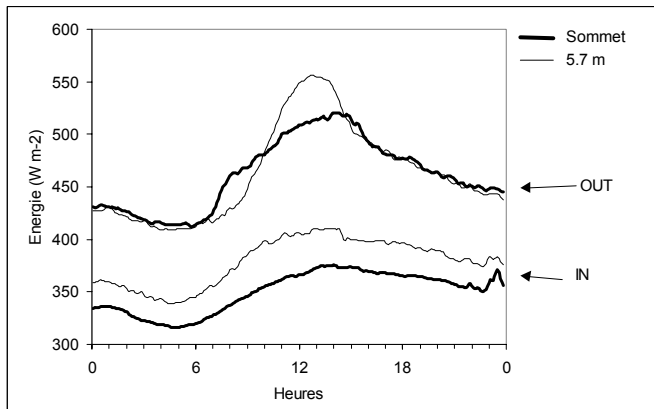
Fig. 2



La figure 2 illustre l'effet de piège que représente le canyon urbain pour le rayonnement solaire. Elle montre que l'albédo au sommet du canyon (qui est de l'ordre de 0.1) est toujours inférieur à celui mesuré aux autres niveaux.

1.2 Le rayonnement infrarouge

Fig. 3



La figure 3 montre l'évolution du rayonnement infrarouge incident (IN) et émis-réfléchi (OUT) aux deux niveaux. Il est intéressant de constater que pour l'infrarouge incident (IN), le fond du canyon est privilégié pendant toute la journée en raison du rayonnement émis et réfléchi par les murs. En ce qui concerne le rayonnement émis-réfléchi (OUT) il est similaire aux deux niveaux dans l'après-midi et pendant la nuit. Les écarts observés entre 6h et 14h proviennent des différences induites par les températures de surface, qui sont elles-mêmes dues à des éclaircissements différents.

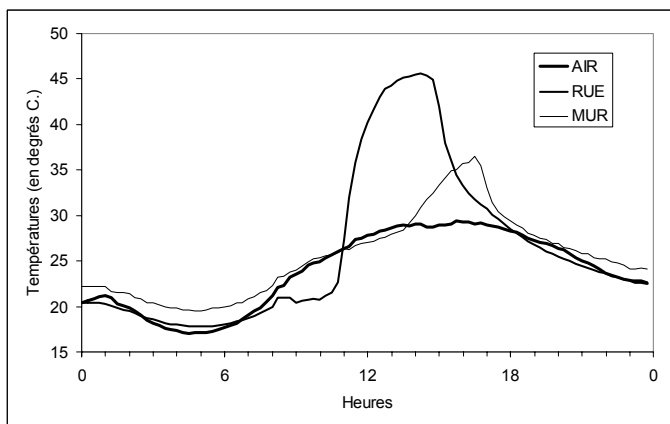


Fig. 4

La figure 4 confirme l'analyse précédente puisque les températures de surface dans le canyon sont en équilibre avec la température de l'air pendant l'après-midi et la nuit, alors que des différences importantes se produisent dans la matinée et le début d'après-midi.

1.3 Le bilan radiatif

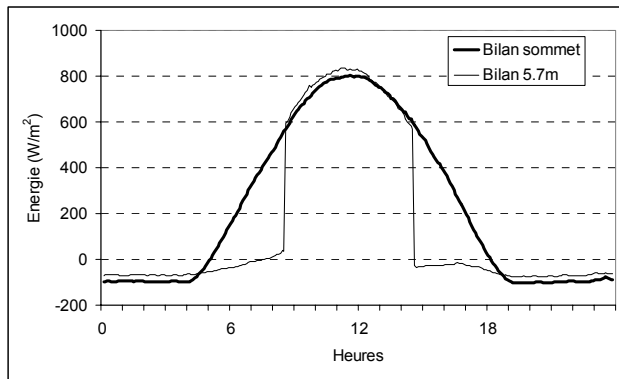


Fig.5

Durant la nuit et pendant la période où l'ensemble du canyon est éclairé, le bilan radiatif au fond du canyon (Figure 5) est légèrement supérieur à celui observé au sommet pendant. Mais il est intéressant de noter que le bilan radiatif du fond du canyon n'est positif qu'entre 8h du matin et 14h de l'après-midi (TU), ce qui a pour conséquence un déficit radiatif notable par rapport au sommet en début de matinée et dans l'après-midi.

1.4 Le bilan d'énergie

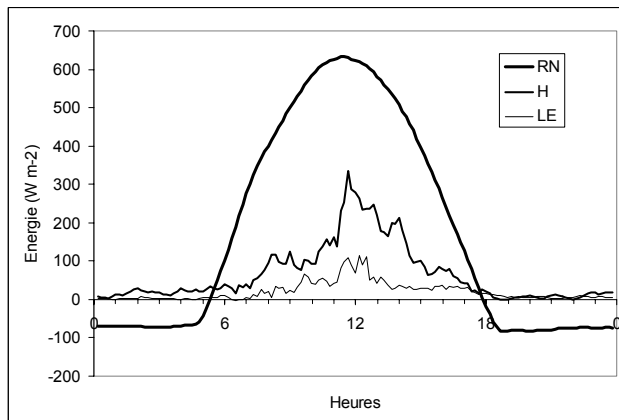


Fig. 6

La Figure 6 présente les flux de chaleur sensible (H) et latente (LE) ainsi que le bilan radiatif (RN) mesurés au sommet du canyon. Si le flux de chaleur sensible est du même ordre de grandeur que celui observé dans les zones rurales, le flux de chaleur latente est très faible et ne dépasse guère les 100 W/m^2 . Le flux de chaleur stocké dans le sol et les bâtiments s'obtient par différence. Dans le cas d'un canyon urbain il est très important et peut dépasser les 200 W/m^2 . C'est dans cette caractéristique que réside l'explication du phénomène de l'îlot de chaleur urbain.

Conclusion

Les résultats exposés ne représentent qu'une partie des résultats collectés lors de l'expérimentation RECLUS qui a été menée à Strasbourg durant l'été 2002. La base de données va permettre de tester et valider différents types de modèles physiques applicables au canyon urbain (Groleau et al., 2001) mais aussi à l'échelle du quartier et même de l'agglomération (Masson, 2000).

Références bibliographiques

- GROLEAU D., C. MARENNE 2001 : Simula_3D : a multizone unsteady thermal simulation tool based on a 3D modelling of the building. In Seventh International IBPSA Conference : Building simulation, Rio de Janeiro, 13-15 August 2001, IBPSA 585-592.
- MASSON V. 2000 : A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. Bound. Layer Meteorol., 94(3) : 357-397.
- G. NAJJAR, P.P. KASTENDEUCH, M.P. STOLL, J.R. COLIN, F. NERRY, N. RINGENBACH, J. BERNARD, A. DE HATTEN, R. LUHAHE, D. VIVILLE, 2004 : Télédétection, rayonnement et bilan d'énergie en climatologie urbaine à Strasbourg, le projet RECLUS. La Météorologie, accepté.
- NAJJAR G., P.P. KASTENDEUCH, L. FISCHER, P. PAUL, D. VIVILLE, 2000 : Techniques et mesures en climatologie urbaine : l'exemple de Strasbourg. Publi. l'Ass. Inter. Clim., 13, pp.420-425.

**QUELQUES ASPECTS CONCERNANT LA REPARTITION DES PRECIPITATIONS
ABONDANTES, AVEC DES CONSEQUENCES CATASTROPHIQUES
DANS LES SUBCARPATES DE BUZAU (ROUMANIE)**

G. Neamu

Universitatea Valahia, Târgoviste, Bucuresti , România

E-mail : gneamu@hotmail.com

Resumé : L'action de dégradation du milieu dépend, dans une grande mesure, du régime des précipitations atmosphériques. On a étudié les quantités annuelles, mensuelles et celles tombées pendant 24 heures, parmi lesquelles, celles de 1^{er} et 2 juillet 1975, avec plus de 200 mm dans les villages de Colti et Odaile et 177,8 mm à la station météorologique de Patârlagele.

Mots clés : Subcarpates de Buzău, pluies exceptionnelles, intensité des précipitations, cyclone rétrograde

Abstract: The deterioration of the environment depends in a high grade of the regime of atmospheric precipitations. The data of yearly, monthly and daily quantity of precipitations in a certain area were taken into the study. Two data of two days, the 1st and 2nd of July 1975 were more than 200 mm in the vilages Colti and Odaile and 177.8 mm at the meteorological measure point at Pătârlagele.

Key words: Subcarpates de Buzău, exceptional rain, intensity of rain, retrograde cyclone

Introduction

Dans la dépression de Patârlagele, située dans la zone médiane de Subcarpates de Buzau, se trouve la Station de Recherches Géographiques de l'Institut de Géographie de Bucarest. Une direction de recherches de la Station, est la climatologie et la topoclimatologie. On a utilisé les données obtenues des pluviographes installées dans le périmètre de la station de Patârlagele, On a utilisé aussi les données de précipitations, quantités mensuelles et annuelles, des postes pluviométriques du réseau d'état.

1. Quantités moyennes annuelles de précipitations

Les particularités géographiques locales (relief, altitude, exposition, couverture végétale) des postes pluviométriques de Patârlagele, 284 m, Fundaturile, 350 m, Colti, 500 m et Odaile, 620 m, déterminent une variation des quantités moyennes annuelles de précipitations. Ainsi, à la station météorologique de Patârlagele, située sur la terrasse de 25 - 30 m de la rivière de Buzău, les précipitations dépassent 600 mm (635,6 mm). A Fundaturile, bien que le poste pluviométrique soit situé plus haut (66 m), les quantités sont plus faibles (30 mm de moins) à cause de l'abri offert par la colline Muchia Fetii (599,7 mm).

L'abri et l'effet de fœhn contribuent à la réduction des quantités moyennes annuelles au poste d'Odaile, jusqu'a 569,3 mm, bien que l'altitude soit plus élevée de presque 350 m, par comparaison à Patârlagele : seulement, entre Patârlagele et Colti, il y a une différence à cause de l'altitude (Patârlagele, 635,6 mm, Colti ; 796,3 mm)

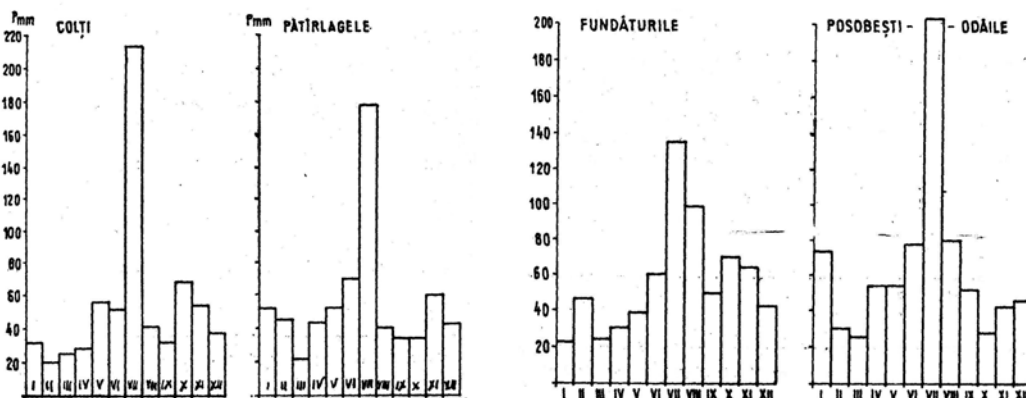
2. Quantités maximales en 24 heures

De toute la quantité de précipitations mensuelles, celles de 24 heures sont particulièrement intéressantes car celles-ci contribuent, en grande mesure, à la dégradation du paysage géographique des Subcarpates de Buzau. Celles-ci sont plus faibles en mars (27,6 mm au Colți, 30,0 mm au Fundaturile) et très fortes en juillet (213,9 mm, le 2 VII 1975 au Colți et 177,8 mm la même journée au Patârlagele). (tab. 1 et fig. 1).

Tab 1. : Quantités maximales en 24 heures dans les Subcarpates du Buzau

Les mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Annuel
Fundaturile	23,0	43,3	23,0	30,4	38,6	59,1	135,5	98,0	49,0	59,0	53,3	42,2	135,5
Odaile	73,0	30,4	25,0	53,3	57,3	77,3	200,2	80,5	52,2	27,5	41,5	45,0	200,2
Colti	31,0	20,4	25,3	27,6	55,0	51,7	213,9	51,3	31,8	67,0	53,4	36,5	213,9
Patârlagele	52,2	45,0	21,1	43,1	52,3	69,8	177,8	40,0	34,8	34,0	60,2	42,8	177,8

Fig. 1 Précipitations max. en 24 heures dans les Subcarpates du Buzau (1961-2000)



La pluie de 2 juillet 1975 qui a envahi toute la zone des Subcarpates a enregistré des valeurs très élevées dans le périmètre de la station de Patârlagele. En analysant les précipitations maximales enregistrées en 24 heures aux postes Odaile et Patârlagele, on peut constater que les valeurs enregistrées en 1975, sont presque de 100% plus élevés que celles calculées pour l'assurance de 1%. Les quantités maximales en 24 heures tombées pendant le mois d'octobre (67 mm en 1975 au Colți) et de novembre (60,2 mm en 1975 au Patârlagele) ont été aussi très actives, à cause d'un degré plus réduit de couverture végétale, pendant cette période d'automne.

Les quantités de précipitations pendant l'hiver (75 mm en hiver au Odaile et 52,2 mm au Patârlagele), quoique importantes, n'ont pas le même effet destructif, parce qu'elles ont une intensité plus réduite, et car elles tombent sous forme solide.

Les précipitations maximales en 24 heures enregistrées dans les Subcarpates de Buzau ont des valeurs plus grandes en comparaison avec les autres régions de Roumanie, par exemple la Transylvanie, phénomène qui explique, en outre, le développement excessif des processus de modelage du relief dans les Subcarpates de Buzau

3. La fréquence du nombre des jours à précipitations $\geq 0,1$ mm

Le nombre annuel moyen de jours de précipitations est 111, ce qui signifie que presque la troisième partie du nombre annuel de jours est caractérisé par pluies. Mais à Colti, par exemple, ce nombre est plus petit (90,5 jours). Le pourcentage du nombre annuel des jours à précipitations indique une grande fréquence pendant la saison d'été et du printemps (par exemple à Colti 33,1% pendant l'été et 18,2% en automne)

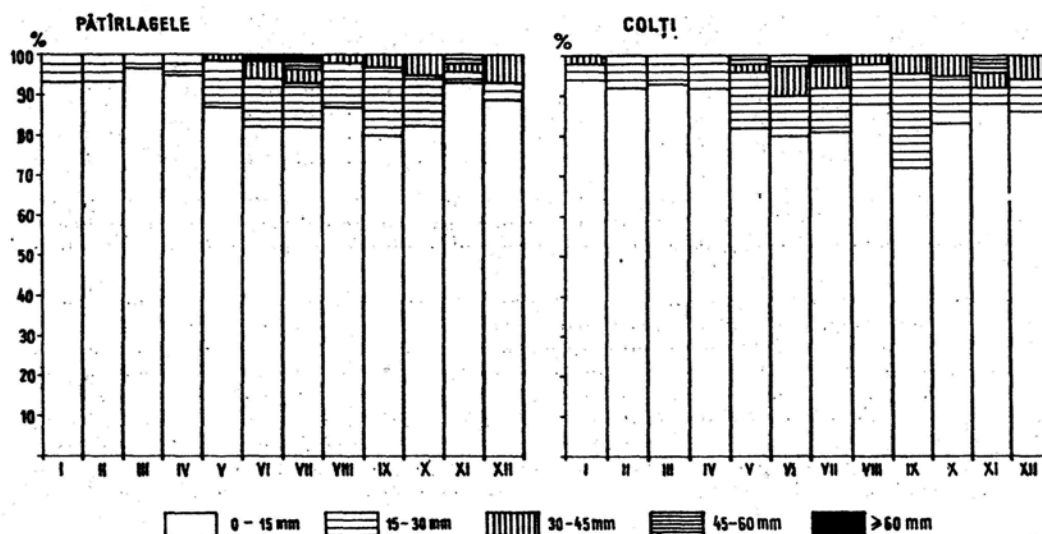
4. Fréquence des jours à diverses quantités de précipitations

Plus de 80% du nombre de jours pluvieux ont enregistré de petites quantités de précipitations, de 0,1 à 15,0 mm : entre 15 et 30 mm il y a seulement 10,5 jours à Colti et 9,1 à Patârlagele (tab. 2, fig.2).

Tab. 2 : Fréquence de nombre de jours à différentes catégories de précipitations (%)

Quant. mm	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
PATÂRLAGELE													
0-15 mm	93.5	93.8	98.9	95.7	87.2	82.4	84.6	87.7	80.3	82.1	93.4	88.4	88.4
15-30 mm	6.5	6.2	3.1	4.3	12.1	12.2	10.8	11.4	16.9	12.9	2.6	4.3	9.1
30-45 mm	-	-	-	-	0.7	4.6	3.1	0.9	2.8	5.0	2.6	7.3	2.1
45-60 mm	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	0.01
>60 mm	-	-	-	-	-	0.8	0.7	-	-	-	1.4	-	0.03
COLT													
I													
0-15 mm	94.6	92.2	93.3	92.1	83.6	80.0	81.6	86.3	73.2	83.1	88.0	85.7	85.5
15-30 mm	3.6	7.8	6.7	7.9	14.1	10.5	12.0	12.5	23.2	11.9	4.0	8.9	10.5
30-45 mm	1.8	-	-	-	0.8	7.4	4.8	1.2	3.6	5.0	4.0	5.4	2.8
45-60 mm	-	-	-	-	1.6	2.1	0.8	-	-	-	4.0	-	0.8-
>60 mm	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	0.4

Fig.2 : Fréquence du nombre des jours à différentes quantités de précipitations



Dans les dernières 40 années on a enregistré des jours à quantités exceptionnelles, environ 100 mm ou plus, au cours des mois de mai, juin, juillet ou octobre, spécialement en 1975. Dans les Subcarpates de Buzau, notamment dans la dépression de Patârlagele, pendant les dernières décennies, ont eu lieu au moins deux périodes avec de fortes pluies torrentielles. Ainsi en 1969, dans un intervalle de 9 jours, en juin, ont été enregistrées 4 pluies torrentielles à Colți et 3 à Patârlagele : les pluies ont eu comme conséquences de fortes inondations sur la vallée de Buzau, avec beaucoup de dégâts.

Les phénomènes se sont répétés après 6 ans quand, au commencement du mois de juillet, en présence d'un cyclone rétrograde situé dans le bassin Ouest de la Mer Noire, toute la région des Subcarpates de Buzau a été couverte par de précipitations atmosphériques exceptionnelles de longue durée, avec des effets destructifs.

Conclusions

La région des Subcarpates de Buzau est favorable aux grandes quantités de précipitations, tombées pendant l'été, qui ont déterminé la modification de la configuration des affluents de la rivière de Buzau, réactivé les glissements de terrain, détruit quelques kilomètres de la voie ferrée (Buzau – Nehoiasu). Plus grave encore, on a enregistré des pertes en vies humaines et de grands préjudices dans la totalité des biens des paysans de la région.

Références bibliographiques

- ARGHIRIADE C. 1954 : Padurea, mijloc de baza pentru protectia debitului apelor noastre, Rev. Padurilor
- BOGDAN O., MIHAI E., TEODOREANU E., 1974 : Clima Carpatilor si Subcarpatilor de curbură dintre Teleajen si Slanicul Buzaului, vol. Xerogr. Inst de Geografie, Bucuresti
- MOTOC M., MUNTEANU G., BALOIU V., STANESCU P., MIHAI GH., 1975 : Eroziunea solului si metodele de combatere a ei, Edit. Ceres, Bucuresti
- NEAMU GH., TEODOREANU E., 1972, Repartitia precipitatiilor atmosferice în raport cu altitudinea în Carpatii Românesti, Lucr. Simpoz. de geogr. a Carpatilor, Inst de Geogr. Bucuresti
- STANESCU P., TALOESCU I., DRAGAN L., 1969 : Contributii la stabilirea unor indicatori de estimare a erozivitatii pluviale, Anal. ICIFP, Pedol., II
- STRUTU M., MILITARU F., STOICA C., 1972 : Les Carpates Orientales comme élément modificateur de l'évolution des cyclones au déplacement rétrograde, A V-a Conferinta de Meteorologia Carpatilor, Inst. Meteor., Hidrol., Bucuresti
- TEODOREANU E., NEAMU GH., 1975: Cantitatea maxima de precipitatii în 24 de ore, harta color sc. 1 : 3000000, Atlas R.S.România , pl. IV, Edit. Academiei R.S. România
- *** 1952 : Influenta exercitata de padure asupra mediului, Organizatia pentru alimentatie si agricultura, FAO, Bucuresti

EVOLUTION SAISONNIERE DES RELATIONS PRECIPITATIONS / RELIEF EN AFRIQUE ORIENTALE

P. Oettli et P. Camberlin

Centre de Recherches de Climatologie, FRE 2740 CNRS/Université de Bourgogne, Dijon
e-mail : oettlip@u-bourgogne.fr

Résumé : Des modèles statistiques de répartition spatiale des précipitations en Afrique équatoriale orientale sont définis, en utilisant différents descripteurs topographiques. Les prédictors retenus sont analysés et comparés (variations saisonnières et interannuelles).

Mots-clés : Précipitations – Modélisation statistique – Relief – Variations interannuelles

Abstract: Based on various topographical descriptors, we define statistical models aiming at explaining the spatial distribution of rainfall in eastern Africa. The predictors which are retained are compared with respect to their seasonal and interannual variations.

Key-words: Rainfall – Statistical modeling – Orography – Interannual variations

Introduction

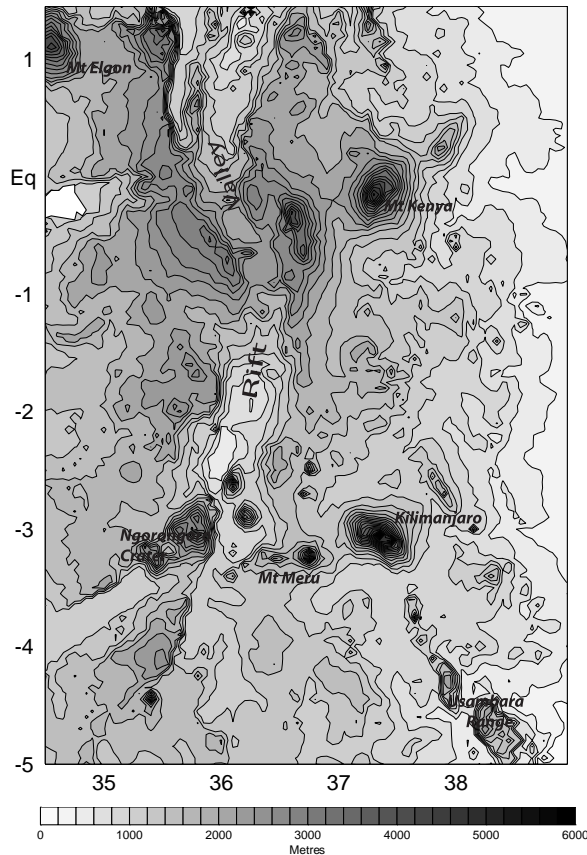
L'utilité des prévisions et des projections climatiques est altérée, pour bien des applications, par l'échelle spatiale relativement grossière à laquelle elles sont disponibles. Or spatialiser une information climatique mesurée ponctuellement, comme les précipitations, exige une connaissance solide des facteurs qui gouvernent sa répartition, notamment ceux relevant de la topographie. Parmi les nombreux travaux (Benichou et Le Breton, 1987 ; Hevesi et al., 1992 ; Humbert et al., 1998 ; Kyriakidis et al., 2001, Daly et al., 2002, et bien d'autres), peu ont considéré le domaine tropical, ni la stabilité interannuelle des modèles obtenus. En prenant le cas de l'Afrique de l'Est, les problèmes liés à l'établissement de modèles statistiques d'estimation spatiale des précipitations sont abordés. L'analyse porte d'abord sur les normales mensuelles. La pertinence des prédictors retenus et leur évolution selon les saisons sont discutées. La variabilité interannuelle est ensuite envisagée, en prenant l'exemple du mois d'avril.

1. Région étudiée et données

La région considérée, sur l'équateur (34.5 à 39°E, 5°S à 1.5°N), comprend le sud du Kenya (moins la côte) et le nord-est de la Tanzanie. Les précipitations se répartissent généralement en deux saisons des pluies (mars-mai et octobre-décembre), mais l'ouest du Kenya reste arrosé de juin à septembre. Les quantités précipitées varient beaucoup dans l'espace, en fonction notamment du relief. Celui-ci présente de vastes plateaux s'élevant graduellement de l'est (océan Indien) vers l'ouest. Les hauts-plateaux du centre et de l'ouest sont interrompus par la vallée nord-sud du Rift, et dominés par des massifs isolés dépassant les 3500m (fig. 1).

Outre pour ce relief accidenté, la région a été choisie pour l'existence d'un dense réseau de stations. 305 d'entre elles sont utilisées pour l'analyse des normales mensuelles (calculées sur la plus longue période d'observation possible).

Fig. 1 : Relief de la région étudiée



Parmi ces stations, 112 disposent de séries mensuelles couvrant la période 1961-1985. Les valeurs manquantes sont estimées à partir des stations proches ; leur petit nombre (moins de 4%) n'altère pas significativement les résultats. Chacune des deux bases de données est divisée en deux échantillons de taille comparable (échantillon d'apprentissage pour l'établissement du modèle, échantillon de contrôle pour sa validation).

Les prédicteurs sont essentiellement dérivés du Modèle Numérique de Terrain (MNT) GTOPO30 (USGS), dont la résolution à l'équateur est d'environ 1 km. Pour des fenêtres de taille différentes (11 à 213 km de côté) centrées sur chaque station, on calcule les valeurs moyennes ('moy'), médianes ('med'), les amplitudes ('ampl') et les écart-types ('e-t') des altitudes provenant du MNT. Des valeurs de pente sont également utilisées. La géométrie des reliefs entourant chaque point est décrite en réalisant au préalable une analyse en composantes principales, selon une démarche dérivée de Benichou et Le Breton (1987). Les 4 premières composantes (87% de la variance) sont retenues (figure 2). Elles décrivent les contrastes d'exposition est-ouest (CP1), nord-sud (CP2), crête / vallée (CP3), et position sommitale ou cuvette (CP4). Ces composantes sont calculées pour 3 tailles de fenêtres différentes, afin de décrire l'organisation du relief à différentes échelles

2. Précipitations normales d'avril

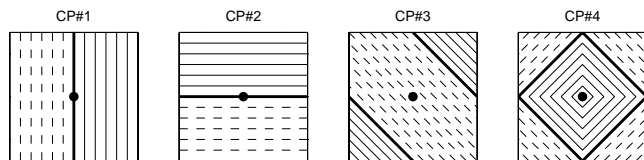


Figure 2 : Configurations topographiques utilisées comme prédicteurs. Lignes continues : altitudes supérieures à l'altitude moyenne (ligne grasse) ; lignes brisées : altitudes inférieures.

Un modèle de régression linéaire multiple expliquant la répartition spatiale des normales d'avril (R), cœur de la principale saison des pluies, est calculé selon une méthode pas à pas, en utilisant les stations de l'échantillon d'apprentissage. Les prédicteurs significatifs au seuil de 95% (test de Fisher) entrent dans le modèle, dans la limite de 4. Le modèle est ensuite utilisé pour estimer les précipitations aux points de grille correspondants aux stations de l'échantillon de contrôle. La qualité du modèle est évaluée à l'aide du coefficient de détermination entre les valeurs estimées et les valeurs observées en chacun de ces points, et de différents scores de précision (RMSE, LEPS, SK, [Jolliffe and Stephenson, 2003]).

Le modèle de régression multiple est le suivant :

$$R = 3574,1 \text{ CP2}_{123} + 0,29 \text{ e-t}_{71} + 7955,5 \text{ CP4}_{33} + 7571,7 \text{ CP2}_{213} + 76$$

Les 1er et 4eme prédicteurs (CP2_123 et CP2_213) décrivent l'influence des contrastes nord-sud d'exposition sur la pluviométrie. En avril, une exposition sud (à échelle moyenne et large, c'est-à-dire pour des fenêtres de 123 et 213 km) contribue à accroître les précipitations. Ceci est à mettre en relation avec la rotation du nord-est au sud-est des vents dominants, occasionnant des ascendances orographiques

sur les versants sud ou sud-est. La variable e-t_71 est une mesure de la vigueur des contrastes topographiques, à échelle large. La variable CP4_33 renvoie à une position de sommet ou de cuvette.

La variance des précipitations expliquée par le modèle dans l'échantillon de contrôle est de 28%, ce qui correspond à une valeur très significative du F de Fisher. Cependant, l'erreur (RMSE) est élevée (89mm), et les scores de précision, positifs, restent à un niveau modeste (LEPS : 34,9% et SK : 35,2%). Ces scores sont en partie expliqués par l'échec de l'estimation de certaines précipitations extrêmes.

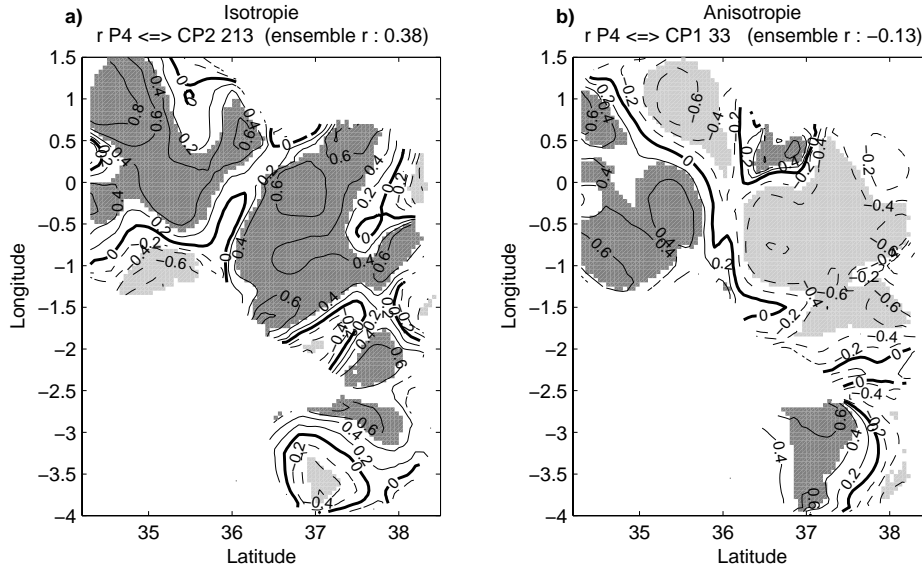


Fig. 3 : Corrélations glissantes (fenêtres de rayon 0,7°) entre précipitations stationnelles d'avril et l'exposition nord-sud (a) ou l'exposition est-ouest (b), avec pondération fonction inverse de la distance au centre de la fenêtre. Grisés : valeurs significatives au seuil de 95%.

Le pourcentage modeste de variance est lié à la complexité de la région étudiée. Les prédicteurs retenus doivent présenter une certaine isotropie dans leur relation avec les précipitations. C'est le cas de la variable CP2_213 (fig. 3a) : hormis quelques points isolés, l'exposition sud est systématiquement facteur d'augmentation des pluies. D'autres variables, exclues du modèle, sont aussi fortement corrélées avec les précipitations, mais de façon différenciée dans l'espace. Les contrastes est-ouest d'exposition (fig. 3b) présentent ainsi des corrélations négatives significatives dans le centre-est du Kenya, positives au sud et à l'ouest. Leur inclusion dans des modèles d'échelle sous-régionale, complétant le modèle régional, est envisageable.

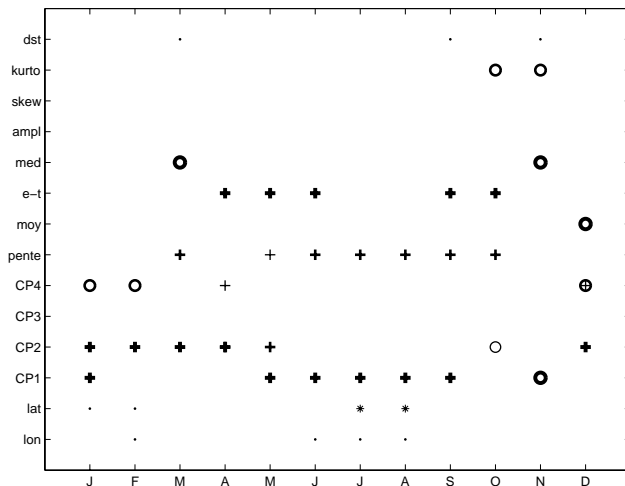


Fig. 4 : Prédicteurs des précipitations moyennes mensuelles retenus dans les régressions multiples. Cercles : corrélations négatives; croix : positives. Dst : distance au lac Victoria ; kurto : coefficient d'acuité ; skew : coefficient de symétrie. Traits fins : fenêtre de 33 km ; traits moyens : 123 km ; traits épais : 213 km.

3. Répartition saisonnière des prédicteurs

La même méthode est appliquée aux autres mois de l'année. Les résultats montrent la récurrence de certains prédicteurs, et une organisation saisonnière assez distincte (fig. 4). Les contrastes nord-sud d'exposition (CP2) apparaissent des facteurs décisifs de décembre à mai : durant cette période où la ZCIT est principalement dans

l'hémisphère sud, les versants sud sont plus arrosés. Les contrastes est-ouest (CP1) sont plus déterminants durant l'été boréal (mai-septembre). Les versants est, soumis au flux divergent du jet de Somalie, sont secs ; les versants ouest bénéficient de précipitations liées aux circulations de méso-échelle du lac Victoria. Les effets de sommet (CP4) contribuent à l'augmentation des précipitations en hiver boréal (décembre-février). L'altitude moyenne ou médiane intervient très peu dans les modèles. L'augmentation des précipitations avec l'altitude se fait selon des gradients très variables d'une sous-région à l'autre, et souffre de multiples exceptions. La « rugosité » du relief, décrite par l'écart-type, intervient à la fin de la grande saison des pluies et au début de la petite, et la pente en été boréal, aux échelles fines. Enfin, une part de la variance est décrite par des surfaces de tendance incluant latitude et/ou longitude, rendant compte de l'intervention de facteurs d'échelle supérieure (position de la ZCIT, ...) dans la répartition spatiale des précipitations.

4. Variations interannuelles

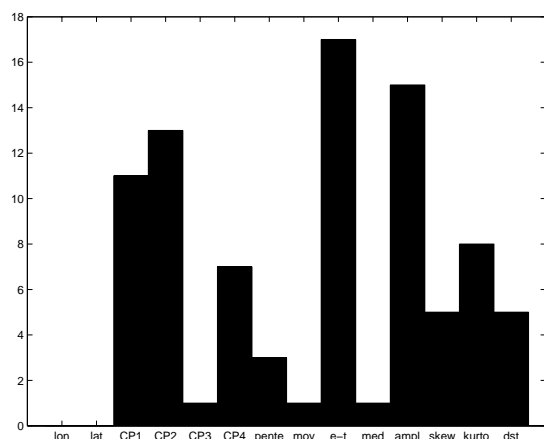


Figure 5 : Fréquence d'apparition des prédicteurs dans les modèles de régression des précipitations d'avril établis pour chaque année de la période 1961-1985.

Les facteurs géographiques de répartition des précipitations sont-ils récurrents d'une année à l'autre ? En reprenant le cas d'avril, des modèles ont été établis selon la même méthode mais année par année de 1961 à 1985 (fig. 5). L'écart-type et l'amplitude sont les prédicteurs les plus souvent retenus, confirmant que les forts contrastes topographiques induisent des précipitations élevées. L'exposition a un poids important pratiquement chaque année, mais selon les cas il s'agit des contrastes nord-sud ou des

contrastés est-ouest. On peut émettre l'hypothèse que ces changements résultent de variations dans la direction des vents dominants d'une année à l'autre, et dans leur interaction avec le relief.

Conclusion

L'établissement de modèles statistiques de répartition des précipitations mensuelles pour l'Afrique orientale à partir de descripteurs topographiques donne des résultats satisfaisants, mais certaines anisotropies dans les relations ne permettent pas l'obtention de parts de variance très élevées. La prise en compte simultanée de plusieurs échelles apparaît pertinente. D'une saison à l'autre, les prédicteurs changent sensiblement, en relation avec l'évolution de la circulation atmosphérique au-dessus de la région. Les faits d'exposition ont un rôle majeur. Des variations interannuelles apparaissent aussi, bien que quelques prédicteurs soient récurrents.

Références bibliographiques

- Benichou, P., O. Le Breton, 1987 : Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques, *La Météorologie*, 7, no. 19, pp. 23-34 + atlas.
- Daly, C., W.P. Gibson, G.H. Taylor, G.L. Johnson, P. Pasteris, 2002 : A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate, *Clim. Res.*, 22, pp. 99-113.
- Hevesi, J.A., J.D. Istok, A.L. Flint, 1992 : Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: structural analysis, *J. Appl. Meteor.*, 31, pp. 661-676.
- Humbert J., G. Drogue, N. Mahr, 1998 : Cartographie des précipitations par paramétrisation omnidirectionnelle du relief : la méthode PLUVIA, *Publ. Assoc. Int. Clim.*, 11, pp. 259-266.
- Jolliffe I.T., D.B. Stephenson (éditeurs), 2003 : *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. Wiley, 240 pages.
- Kyriakidis, P.C., J. Kim, N.L. Miller, 2001 : Geostatistical mapping of precipitation from rain gauge data using atmospheric and terrain characteristics, *J. Appl. Meteor.*, 40, pp. 1855-1877.

LE ROLE DU CLIMAT DANS LA GENESE ET L'EVOLUTION DES FORETS DUNAIRES FRANÇAISES

Y. Petit-Berghem

Laboratoire Géophen, LETG UMR 6554 du CNRS, UFR de Géographie
Université de Caen Basse-Normandie
e-mail : petit-berghem@geo.unicaen.fr

Résumé : Le long de la façade atlantique française, les paysages dunaires résultent de facteurs naturels et anthropiques. Parmi les facteurs physiques, le climat local est important dans la mesure où il conditionne l'arrivée de l'arbre et de la forêt. Les dunes boisées en Pin maritime au XIX^e siècle se sont largement enrichies par recolonisation naturelle des chênes. Cette transformation associée au dépérissement des pins est liée pour partie aux conditions climatiques. Des suivis sont nécessaires pour prendre des mesures correctives adaptées.

Mots-clés : climat, forêt dunaire, végétation

Abstract: Along the French Atlantic coast, dune landscapes result from both natural and anthropic factors. Among the physical factors, the autochthonal climatic conditions are important insofar as they regulate the appearance of the tree and the dune forest. The dunes planted with Maritime Pine in the 19th century have been enriched by natural recolonization by oaks. This transformation associated with deterioration with the Maritime Pine is partly related to the climatic conditions. Monitoring is necessary in order for appropriate corrective measures to be taken.

Key-words: climate, dune forest, vegetation

Introduction

Le long des littoraux dunaires français en façade occidentale s'étendent des végétations variées parmi lesquelles se trouvent des forêts littorales. Ces forêts sont pour la plupart d'entre elles jeunes (moins de deux siècles), elles se sont développées dans un contexte de stabilité climatique après le Petit Age Glaciaire. Bien que les conditions climatiques ne soient pas étrangères à leur venue, leur présence est davantage la traduction d'un artefact lié à la volonté incessante de l'homme de transformer le milieu. Cette réalité explique qu'elles soient aujourd'hui dans un état d'équilibre précaire, équilibre remis sans cesse en cause autant par les paramètres climatiques que par le développement contemporain des activités humaines littorales.

1. Climat et végétation littorale

Dans son plaidoyer remarqué pour la protection et la préservation de la diversité biologique du littoral français, M. Bournérias évoque des forêts caducifoliées en bordure de côte (Bournérias, 1993). Selon lui, les contraintes climatiques n'autorisent de véritables forêts que dans les stations abritées. Les chênaies caducifoliées sont alors fréquentes, descendant presque jusqu'à l'estran dans les abers armoricains. De même, sur la côte basque, certaines forêts de ravin, à fougères d'atmosphère humide, pénètrent dans les vallons littoraux les plus humides. Dans les complexes dunaires, l'auteur n'évoque pas ou prou de boisements naturels mais plutôt des forêts de conifères (Pin maritime associé à d'autres espèces) résultant généralement d'introductions plus ou moins anciennes. En effet, dans de nombreux cas, la mobilité de la dune liée à la conjonction de nombreux facteurs (érosion, pâturage, forte population de lapins, fréquentation humaine) n'a pas permis à la forêt naturelle de se développer. Pour contrer cette mobilité, l'homme a par contre boisé, en situation parfois très aventureuse à proximité de l'estran. Ainsi, le long de la façade atlantique, les pinèdes plantées en ordre serré ont bien souvent remplacé les chênaies

sempervirentes en front de mer. Celles-ci infiltrées d'une flore méditerranéo-atlantique remarquable (*Daphne gnidium*, *Cistus salvifolius*, *Arbutus unedo*) remontent toutefois jusqu'à Noirmoutiers lorsqu'elles ne sont pas menacées par la densification, souvent provoquée, du boisement anthropique (Favennec, 1998). Dans un schéma de zonation souvent tronqué par la main de l'homme, il n'est pas facile de s'y retrouver et de cerner le poids du facteur climatique dans l'agencement spatial des végétations rencontrées. Nonobstant cette difficulté, il est clair que le climat intervient au premier plan dans la différenciation des couverts végétaux des dunes littorales. Le climat est même discriminant dans la mesure où il constitue un puissant agent de sélection de la flore littorale. Comment le climat intervient-il ? Quelles sont ses modalités d'action ?

Les systèmes dunaires bordant les plages de la Manche ou de l'Atlantique se construisent par l'action conjointe du vent et de la végétation. Le végétal ligneux est potentiellement apte à coloniser les dunes littorales. Mais, il est bien connu que le vent constitue un facteur écologique limitant excluant ou raréfiant l'arbre en bordure de côte. Pour qu'il y ait forêt, il faut un système dunaire déjà étendu vers l'intérieur des terres. Pas de forêt naturelle en front de mer ! Les arbres seront plus nombreux et plus hauts, leur croissance sera meilleure s'ils sont suffisamment éloignés du trait de côte. L'intensité du vent marin et son caractère agressif (sable, sel) représentent évidemment la contrainte physique la plus forte gommant l'action des autres paramètres climatiques (température, précipitation). Cependant, les données fournies par les stations météorologiques synoptiques et automatiques ne correspondent qu'à des mesures moyennes qui ne peuvent rendre compte des effets climatiques réels subis par la végétation. A l'échelle régionale, des masses d'air d'origine océanique engendrent un climat littoral de nature allochtone : vent violent et fréquent, humidité atmosphérique élevée, insolation plus forte qu'à l'intérieur des terres, amplitude thermique modérée. Mais, en l'absence de vent ou par vent faible lorsque l'air est calme, l'influence des masses d'air allochtones faiblit et un climat autochtone se manifeste (Géhu-Franck et Géhu, 1984). Ce dernier est déterminé par les conditions de site (contexte topographique) et par la nature de la végétation. La venue et le développement des ligneux sont facilités lorsque le cadre topographique s'y prête : les revers continentaux des dunes et surtout les creux abrités des vents les plus forts sont favorables, les crêtes hyper ventilées le sont moins. Les groupements végétaux du haut de plage et du versant maritime de la dune bordière sont aussi ventilés que la plage elle-même. Il est certain que par temps calme, clair et ensoleillé, les creux de dunes s'échauffent considérablement et que par ailleurs ils se refroidissent beaucoup la nuit par rayonnement. C'est dans les cuvettes abritées que les températures moyennes sont les plus élevées. C'est là aussi où la dune subit les écarts de température les plus élevés, manifestation optimale de climat autochtone. En toute logique, ce sont les dunes abritées déjà situées à bonne distance du littoral et pour lesquelles une végétation basse est déjà installée qui paraissent les plus propices au développement d'une forêt. Par ailleurs, en position d'abri, une végétation arbustive déjà établie va jouer un rôle tampon (évaporation faible et stable, faibles écarts de température) et entretenir une micro-ambiance plus humide tout au long de l'année. De plus, les dépressions dunaires creusées par le vent sont caractérisées par une humidité édaphique importante puisque la nappe d'eau douce est proche de la surface quelle que soit la période de l'année. L'eau favorable aux germinations des plantes ralentit par contre la décomposition de la matière organique : l'évolution paratourbeuse des dépressions observée dans bien des cas s'accompagne d'un processus d'atterrissement favorable au développement d'héliophytes et d'espèces ligneuses s'organisant en fourrés. Ceux-ci participent à l'embroussaillage de ces dépressions et donc à leur assèchement progressif. Mais, si cet embroussaillage représente un préalable au boisement, il n'est pas toujours favorable au développement sylvaire en raison du caractère très recouvrant de ces fourrés composés d'espèces opportunistes et envahissantes (Argousier, Sureau, Prunellier). Par ailleurs, si la nappe aquifère est polluée (eutrophisation sous l'influence des activités agricoles, urbaines et/touristiques), la banalisation de la végétation liée au développement de nitrophytes compétiteurs, herbacés puis ligneux (Clématite, Sureau) bloque toute évolution ultérieure. Cette dynamique est bien sûr préjudiciable à la qualité du milieu et au maintien de sa biodiversité. Dans les sites acquis, les structures gestionnaires (Conservatoire du Littoral, Office National des Forêts, Collectivités locales, Associations de protection de la nature) garantes de la conservation de la flore littorale et de sa biodiversité connaissent aujourd'hui les effets de cette dynamique végétale. La densification du couvert particulièrement appauvrissante au sein des interdunes humides (disparition de plantes rares comme des orchidées) n'est pas vue d'un bon œil car

chacun sait que l'optimum de diversité floristique est toujours réalisé avant la fermeture complète du milieu.

2. L'évolution des forêts dunaires

La forêt dunaire ne forme pas un écosystème immuable. Elle évolue constamment d'autant plus qu'elle caractérise un milieu d'interface, le milieu littoral, lui-même en constante évolution. En effet, le littoral est un espace mobile. A l'échelle de la décennie, la dynamique marine, sans cesse renouvelée par des causes naturelles et anthropiques, crée des milieux vierges à l'origine de nouvelles conquêtes végétales, mais peut aussi provoquer des destructions (érosion de dunes) ou des altérations (dépérissement des plantes, modifications des cortèges floristiques). A l'échelle des temps géologiques, les variations climatiques engendrent des mouvements eustatiques capables de déplacer parfois de façon importante le trait de côte. Ces variations commandent le bilan sédimentaire des plages (abondance ou pénurie de sédiments) et modulent les connexions entre les végétations littorales. Si la dynamique littorale a un rôle fondamental dans la diversité floristique, elle est également la cause du caractère ouvert des végétations côtières. Même installée, la forêt dunaire doit donc faire face à d'autres communautés végétales plus promptes à coloniser le milieu. La lutte est d'autant plus difficile que les forêts sont composées d'espèces majoritairement introduites et partiellement naturalisées. En effet, bien que ces espèces trouvent une ambiance climatique comparable à leur région d'origine, elles restent fragiles car elles ne se situent pas dans leur véritable aire climacique. Le dépérissement d'un grand nombre de pins maritimes au cours des dernières décennies n'est pas étranger à cet état de fait (Bartet et Barrère, 1991). Dans les dunes du Nord de la France, il est admis que les températures négatives (notamment les gels sévères de l'hiver 1985) ont déclenché le processus de dépérissement. Celui-ci est complexe car associé à un ensemble de facteurs en interrelations. L'insuffisante fertilité des sols sur roche mère sableuse suscite des difficultés de nutrition minérale et constitue un facteur prédisposant à une forme de dépérissement, le jaunissement. Par ailleurs, le vieillissement des arbres et des pratiques sylvicoles mal adaptées (manque d'éclaircie) rendent les peuplements plus vulnérables. Une densité d'arbre excessive crée une importante concurrence pour l'eau (Aussenac, 1993). Les périodes de faible pluviosité sont souvent évoquées car elles entraînent de fortes baisses de croissance et des défoliations. Le dépérissement des pins a provoqué des réajustements parfois brutaux, mais normaux, de la dynamique forestière avec le développement conséquent d'essences indigènes telles que les chênes que les forestiers gèrent dans un esprit de conservation durable.

Conclusion

Le climat littoral ainsi que les microclimats liés aux conditions mésologiques imposent des seuils physiologiques aisément perceptibles, ils permettent de comprendre la distribution ordonnée des groupements végétaux et l'état actuel des végétations littorales. Mais, au-delà des moyennes climatologiques souvent trompeuses, ce sont les épisodes extrêmes ou inhabituels qu'il s'agit d'intégrer pour comprendre la dynamique paysagère et l'alternance des espèces composant les forêts dunaires.

Références bibliographiques

- AUSSENAC G., 1993, Déficits hydriques et croissance des arbres forestiers, Forêt-Entreprise, n° 89, 40-47.
- BARTET J-H., BARRERE P., 1991. Traitement des dunes littorales, évolution et perspectives, 10 e congrès forestier mondial, Vol. 2, 203-212.
- BOURNERIAS M., 1993, Biodiversité et conservation botanique sur le littoral français métropolitain, Les Ateliers du Conservatoire du Littoral, n° 4, 59-87.
- FAVENNEC J., 1998. Guide de la flore des dunes littorales, ed. Sud Ouest, 168 p.
- GEHU-FRANCK J., GEHU J-M., 1984, Eléments d'informations bioclimatiques à travers le transect dunaire d'Ambleteuse-Wimereux (62, France) : le microclimat, Documents phytosociologiques, Vol. VIII, 275-333.

**ETUDE STATISTIQUE DES VARIATIONS RECENTES DE LA PRESSION
ATMOSPHERIQUE ET DU VENT SUR LES COTES ATLANTIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'IRLANDE**

P.A. Pirazzoli

CNRS-Laboratoire de Géographie Physique, Meudon

e-mail : pirazzol@cnrs-bellevue.fr

Résumé : D'après l'étude statistique des mesures enregistrées dans les stations météorologiques de Belmullet, Valentia, Ouessant et Belle-Ile, au cours de la deuxième moitié du 20^e siècle, la pression atmosphérique montre une tendance croissante. La corrélation avec l'indice de l'ONA est généralement positive et s'améliore vers le sud. Les durées des dépressions cycloniques tendent à diminuer et celles des périodes de haute pression à s'allonger. La fréquence et la vitesse du vent montrent, après un minimum dans les années 1970, un accroissement depuis 1976. Leur corrélation avec l'indice de l'ONA s'améliore en direction du nord.

Mots-clés : pression atmosphérique, Europe atlantique, changement climatique, indice ONA, régression linéaire.

Abstract: Statistical analysis of air pressure and wind recorded during the second part of the 20th century at Belmullet, Valentia, Ouessant and Belle-Ile shows that atmospheric pressure has been generally increasing, with a southward rising gradient and an increasing correlation with the NAO index. Duration of cyclonic depressions tends to decrease, and that of high pressure periods to increase. Wind occurrence and velocity often show a low in the 1970s, then have been increasing since 1976. Changes in wind activity exhibit an increasing correlation with NAO index.

Key words: air pressure, Atlantic Europe, climatic change, NAO index, linear regression.

Introduction

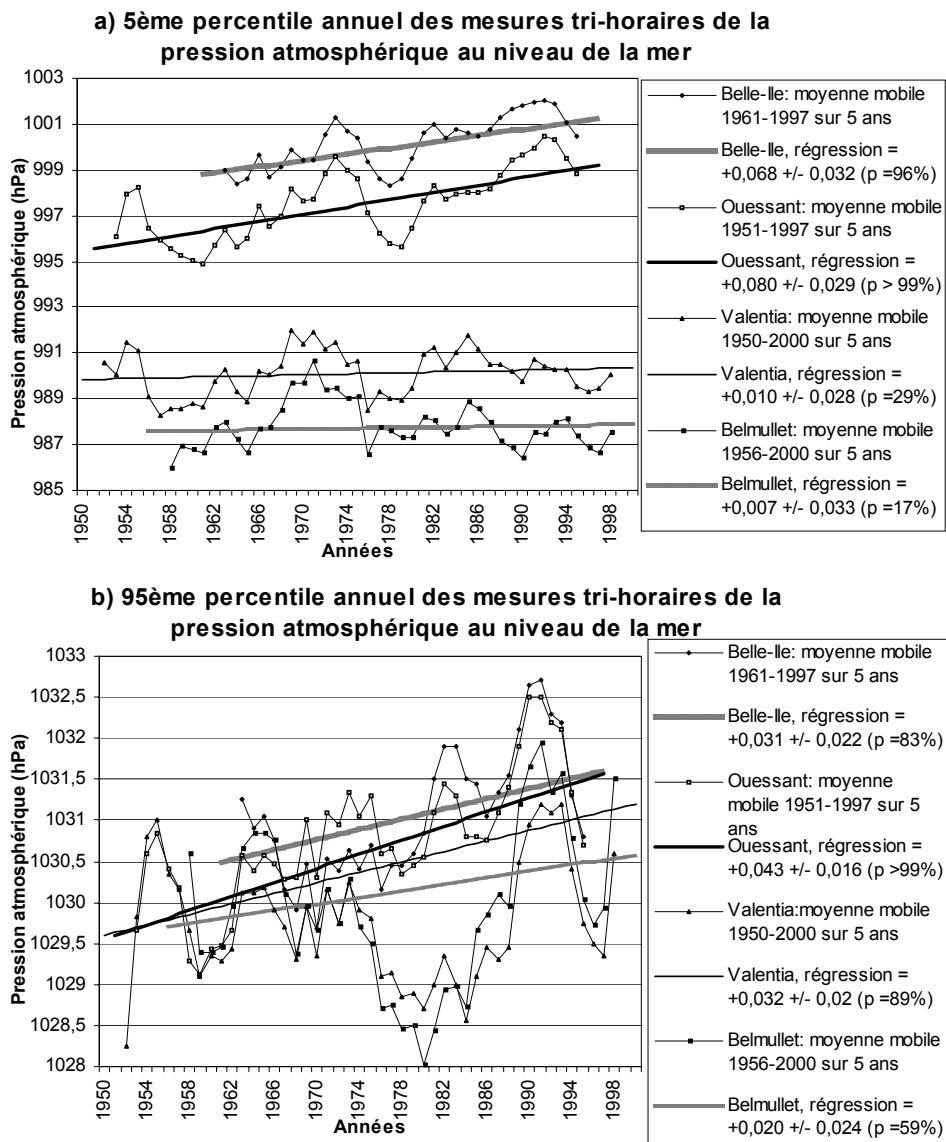
Les tendances de variation pour la pression atmosphérique de surface et pour la direction et la vitesse du vent au cours de la deuxième moitié du siècle dernier ont été étudiées à partir de quatre stations du littoral atlantique de l'Europe, situées le long d'une transversale nord-sud d'environ 1000 km de long entre 54°14'N et 47°16'N : Belmullet et Valentia en Irlande, Ouessant et Belle-Ile en France.

Des régressions linéaires, avec leur degré de confiance, ont été calculées pour les hautes, moyennes et basses pressions, pour la fréquence de situations cycloniques et anticycloniques d'une certaine durée et, en ce qui concerne les vents, pour certaines vitesses et par quadrants.

1. Résultats

Pour les dépressions (représentées dans la figure 1a par le 5^{ème} percentile annuel des mesures tri-horaires), une nette tendance d'augmentation de la pression se manifeste sur la côte française, tandis que les changements sur la côte irlandaise apparaissent peu significatifs.

Fig. 1 : Evolution (moyennes mobiles sur 5 ans et régressions) du 5^{ème} et du 95^{ème} percentile annuel de la pression atmosphérique à Belle-Ile, Ouessant, Valentia et Belmullet. Les régressions sont exprimées en hPa an⁻¹.



Pour les hautes pressions (95^{ème} percentile, fig. 1b), l'augmentation caractérise toutes les stations considérées, malgré une forte oscillation négative en Irlande vers la fin des années 1970. De même, la durée des dépressions tend à diminuer et celle des hautes pressions à augmenter, non seulement à Ouessant et Belle-Ile (Pirazzoli, 2000), mais aussi, dans une moindre mesure, en Irlande.

Pour le vent, les principales tendances sont résumées dans la figure 2. Entre 1950 et 1975 les tendances sont irrégulières, avec des augmentations des vents d'ouest et des diminutions des vents septentrionaux. Dans les stations françaises, les vents méridionaux ont diminué de fréquence, remplacés par les vents d'est. La vitesse a diminué légèrement, spécialement à Belmullet et à Belle-Ile, et s'est renforcée à Valentia.

Fig. 2 : Résumé des tendances de changement pour la fréquence et la vitesse du vent

Station	Fréquence du vent						Vitesse du vent										
	1950-1975		1976-2000		Dernières décennies		1950-1975					1976-2000					
	Toutes directions	Toutes directions	E	S	W	N	Toutes directions	E	S	W	N	Toutes directions	E	S	W	N	
Belmullet	↘	↗	↘	→	↗	→	↘	↘	→	↘	→	↗	↘	↗	↗	↗	↗
Valentia	↗	↘	→	→	↗	↘	→	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↘	→	↘	↘
Ouessant	→	↗	↗	↘	↗	↘	→	↘	↘	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Belle-Ile	↘	↗	↗	↘	↗	↘	↘	↘	↘	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗

Légende : p > 90%; 67% < p ≤ 90%; 33% < p ≤ 66%

Flèche vers le haut = augmentation; vers le bas = diminution; horizontale = sans changement.

La situation change complètement pendant la période suivante 1976-2000 : le vent devient partout plus fréquent, avec des augmentations de vitesse dans pratiquement tous les quadrants, à l'exception de Valentia. Cette augmentation au cours des dernières décennies est semblable à celle signalée en Méditerranée centrale (Pirazzoli et Tomasin, 2003). La situation de Valentia diffère tellement des tendances constatées dans d'autres stations que l'on peut suspecter un déplacement de l'instrument ou la construction récente de bâtiments à proximité de la station.

2. Discussions et conclusion

Pour essayer d'expliquer les phénomènes observés, des corrélations peuvent être tentées avec d'autres éléments météorologiques, comme les changements de température et l'Oscillation Nord Atlantique (ONA). Pour la température, la corrélation est positive. Pour l'ONA, les résultats sont résumés dans le tableau 1.

Tab. 1 : Coefficients de corrélation de l'indice de l'ONA avec la pression atmosphérique au niveau de la mer et avec la fréquence des vents tri-horaires >14 m s⁻¹

Station	Corr. avec la pression moyenne annuelle	Corr. avec la pression moyenne en "saison froide" (octobre à mars)	Corr. avec le pourcentage de vent >14 m s ⁻¹ (ensemble des données)	Corr. avec le pourcentage de vent >14 m s ⁻¹ (depuis 1976)
Belle-Ile	0.49	0.71	0.26	0.20
Ouessant	0.35	0.53	0.27	0.26
Valencia	-0.05	0.30	0.33	0.44
Belmullet	-0.12	0.11	0.47	0.70

Il apparaît que la corrélation s'améliore vers le sud pour la pression, surtout entre octobre et mars, et vers le nord pour le vent, surtout depuis 1976.

Références bibliographiques

Pirazzoli P.A., 2000. Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France. *Oceanologica Acta*, 23, p. 643-661.

Pirazzoli P.A. et Tomasin A., 2003. Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas. *International Journal of Climatology*, 23, p. 963-973

**LA MISE EN PLACE DU SYSTEME D'INFORMATION
DE CLIMATOLOGIE DU DEPARTEMENT D'ENVIRONNEMENT
DU GOUVERNEMENT ANDALOU**

M^a F. Pita, J. M. Camarillo, M. Corzo et J. Alvarez

Département de Géographie Physique et AGR de l'Université de Seville, Espagne

e-mail : mfpita@us.es

Résumé : La communication présente les traits principaux de la structure du Système d'Information de Climatologie de l'Andalousie.

Mots-clés : Système d'Information de Climatologie, Andalousie

Abstract: The paper presents the structure of the Andalusian Climate Information System

Key Words: Climate Information System, Andalusia

Introduction

Ces derniers temps, les réseaux météorologiques se sont élargis en Espagne en réponse à l'apparition de nouvelles demandes d'information (environnementales, agricoles, économiques) et de nouvelles compétences administratives (particulièrement en ce qui concerne les Communautés Autonomes) qui désirent disposer de services météorologiques propres. Cela a provoqué une augmentation de la densité des réseaux d'observation et une multiplication des formats des données acquises. Le résultat a été l'absence de connexion entre les différents réseaux et l'apparition de nombreuses hétérogénéités dans l'information recueillie, les bénéfices nets obtenus de cette croissance étant donc relatifs.

Afin d'éviter ce problème, la Consejería de Medio Ambiente (CMA) de la Junta de Andalucía (Département d'Environnement du Gouvernement Régional andalou) a décidé de créer un système d'information propre –Le Système d'Information de Climatologie Environnementale, appelé CLIMA– qui agglutine l'information issue des principaux réseaux d'observation de la région et qui possède un format spécifique et unique auquel doivent s'adapter ces réseaux. Dans l'unité de Climatologie du Département de Géographie Physique de l'Université de Séville, nous avons créé la structure du système, ensuite, cette structure a été implémentée informatiquement par une entreprise spécialisée. Dans cette communication, nous présenterons les aspects essentiels de cette structure et des processus qui lui sont propres.

1. Les réseaux d'observation intégrés dans CLIMA

CLIMA incorpore l'information issue de sept réseaux d'observation appartenant à trois organismes différents, totalisant plus de 2000 stations de mesure, dont un peu plus de 300 sont automatiques (tab. 1). Il faut remarquer, évidemment, la participation de l'Institut National de Météorologie, principalement en raison de l'importance de son réseau de stations manuelles et parce qu'il détient toute l'information historique de la région, ce qui fait de lui le fournisseur d'information climatique le plus important en Andalousie malgré la présence d'autres organismes qui possèdent un plus grand nombre de stations automatiques.

Tab. 1 : Réseaux de stations de mesure intégrées dans CLIMA.

Organisme	Réseau	Type	Nombre de stations
Instituto Nacional de Meteorología	EMAS	Automatiques	42
	COMPLETAS	Demi-automatiques	28
	DIARIAS	Manuelles	1914
Consejería de Medio Ambiente	INFOCA (Réseau de Surveillance et de Prévention d'Incendies de Forêt)	Automatiques	32
	SIVA (Réseau de Surveillance et de Contrôle de la Qualité de l'Air)	Automatiques	43
Consejería de Agricultura y Pesca	RAIFS (Réseau d'Alerte et d'Information Phytosanitaire)	Automatiques	81
	RIAC (Réseau d'Information Agroclimatique)	Automatiques	89
TOTAL	Automatiques		315
	Manuelles		1914

2. La structure du système CLIMA

2.1 Grandeurs et variables intégrées dans le système.

Dans le système interviennent 11 grandeurs à l'intérieur desquelles se trouve un total de 39 variables. D'autre part, ces variables sont également considérées sur plusieurs échelles temporelles qui vont de l'intra-journalière à l'échelle annuelle, en calculant les dernières à partir des précédentes. Cela détermine un nombre de variables croissant au fur et à mesure que l'on avance dans l'échelle temporelle jusqu'à atteindre un total de 674 variables : 43 intra-journalières, 171 journalières, 230 mensuelles et 230 annuelles. Cette profusion de variables est générée par la volonté d'inclure dans le système toutes les variables issues des réseaux individuels qui en font partie, et par l'intention de rendre plus aisée la consultation de l'information aux utilisateurs du système. Cela entraîne logiquement l'implémentation de nombreux algorithmes de conversion et d'adaptation des unités de mesure et des échelles temporelles, et requiert un système de grande capacité d'enregistrement et de stockage de données qui n'est compensée que par la vitesse avec laquelle on peut réaliser les consultations.

2.2 Processus et flux d'information présents dans CLIMA.

Les données acquises par les stations sont transférées aux concentrateurs de données des différents réseaux, puis au concentrateur de CLIMA, où elles sont converties à un format commun (les données des stations automatiques entrent dans le système une fois par jour, tandis que celles qui proviennent des stations manuelles arrivent une fois par an). Ensuite, elles subissent les processus de validation et d'interpolation de lacunes qui vont permettre leur passage à la banque de données définitive, où finalement s'exécuteront les processus d'exploitation et de diffusion des données (fig. 1). Nous attirerons l'attention ici sur quelques aspects essentiels de ces processus.

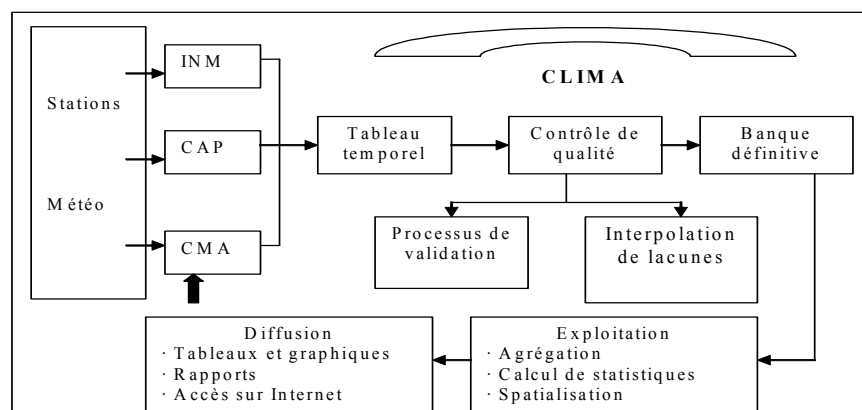


Fig. 1 : Processus et flux d'information dans CLIMA

2.2.1 Contrôle de la qualité des données

Ce contrôle a été effectué par des méthodes diverses, qui sont consignées dans le tableau 2. Dans tous les cas, ils ne comportent jamais l'élimination d'une donnée erronée, mais son identification comme telle dans un rapport.

Tab. 2 : Méthodes de validation appliquées

MÉTHODE DE VALIDACIÓN	VARIABLES
Seuils spécifiques	Toutes les variables
Filtres logiques	<ul style="list-style-type: none"> - Température moyenne, minimum y maximum journalière - Précipitation dans les 10 minutes d'observation. - Occurrence de précipitation sous forme de pluie, de neige ou de grêle - Température du thermomètre mouillé - Température du point de rosée
Augmentation maximale par rapport à l'observation précédente	<ul style="list-style-type: none"> - Température intra-journalière du thermomètre sec
Augmentation maximale par rapport à la valeur correspondante du jour précédent	<ul style="list-style-type: none"> - Température à 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m y 0,20 m sous le sol - Température à 0,15 m au-dessus du sol
Seuil variable selon l'époque de l'année	<ul style="list-style-type: none"> - Insolation intra-journalière, journalière et mensuelle.

Un processus similaire s'effectue dans le cas de l'interpolation des lacunes (tab. 3), qui sont également soumises à de nombreuses restrictions et qui apparaissent marquées dans la banque de données.

Tab. 3 : Méthodes d'interpolation des lacunes assignées aux variables de CLIMA.

MÉTHODES D'INTERPOLATION	VARIABLES
Moyenne arithmétique des deux valeurs intra-journalières antérieures et des deux valeurs intra-journalières postérieures à la valeur problème	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. à 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m y 0,20 m sous le sol - Temp. à 0,15 m au-dessus du sol - Temp. Thermomètre sec (2ème méthode)
Moyenne arithmétique des deux valeurs journalières antérieures et des deux valeurs journalières postérieures à la valeur problème	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. Moyenne journalière à 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m y 0,20 m sous le sol - Temp. moyenne journalière à 0,15 m au-dessus du sol - Temp. Moyenne, min. et max. journalière - Evaporation journalière Piche et en bac - Evapotranspiration journalière en lysimètre
Fonction polynomiale d'ordre 4 pour des données intra-journalières qui suivent des cycles journaliers	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. Du thermomètre sec - Evaporation Piche et en bac - Evapotranspiration en lysimètre
Moyenne pondérée des valeurs inférées à partir des trois séries les mieux corrélées	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. Moyenne, moyenne des max. et moyenne des min. mensuelle et annuelle - Amplitude thermique diurne moyenne mensuelle et annuelle. - Précipitation totale mensuelle et annuelle - Nombre de jours de pluie mensuel et annuel - Evap. mensuelle et annuelle Piche et en bac. - Evapotranspiration mensuelle et annuelle

2.2.2. Exploitation et diffusion des données.

Le système effectue en routine les agrégations des variables pour l'obtention d'autres d'échelle temporelle supérieure, ainsi que les principales données statistiques qui les caractérisent (paramètres de tendance centrale et de dispersion) et certaines applications qui ont été considérées d'intérêt spécial pour les utilisateurs actuels (intégrale thermique et diagrammes bioclimatiques). Il permet également la spatialisation des variables en utilisant des méthodes prédéfinis ou personnalisés dans un SIG (ARC-INFO).

En ce qui concerne la diffusion des données, elle se fait sous la forme de tableaux ou de graphiques des stations et des variables concrètes pour des dates choisies. Il est aussi possible l'obtention des données en temps réel en vue de la gestion de problèmes environnementaux. Le système est d'ailleurs accessible sur le site Internet du Département d'Environnement (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>). De cette façon, les utilisateurs peuvent accéder à toute ou une partie de l'information présente dans le système (selon un protocole qui définit les privilèges d'accès).

Références bibliographiques

PITA LÓPEZ, M.F et CAMARILLO, J.M. (2003) : "The process of integration of manual and automatic meteorological networks in the design of the Information System of Environmental Climatology of Andalusia (SICA). Problems associated with the selection of variables, validation of data entering the system and interpolation of gaps", dans 3rd International conference on Experiences with Automatic Weather Stations, Torremolinos, Málaga.

**MODELISATION DE LA BRISE DE MER ET ETUDE DES EFFETS THERMIQUES :
QUELQUES SITUATIONS CARACTERISTIQUES DANS L'ESPACE VITICOLE
DU SUD-OUEST DE LA PROVINCE OCCIDENTALE DU CAP (AFRIQUE DU SUD)**

***O. Planchon*¹, *V. Bonnardot*² et *S. Cautenet*³**

¹ COSTEL-LETG UMR 6554 CNRS, Université Rennes-2
e-mail : olivier.planchon@uhb.fr

² ARC-ISCW, Stellenbosch, Afrique du Sud
e-mail : valerie@infruit.agric.za

³ LaMP-UMR 6016 CNRS, Université Blaise Pascal
e-mail : sylvie.Cautenet@opgc.univ-bpclermont.fr

Mots-clés : Brise de mer, Modélisation, température, Afrique du Sud

Abstract: The sea breeze effect on temperature was studied in the South Western Cape wine growing area of South Africa. Numerical simulations were performed using the Regional Atmospheric Modelling System (RAMS) for three synoptic conditions during the grape maturation period. The results showed that the warmer the temperature, the greater the temperature decrease induced by the sea breeze.

Introduction

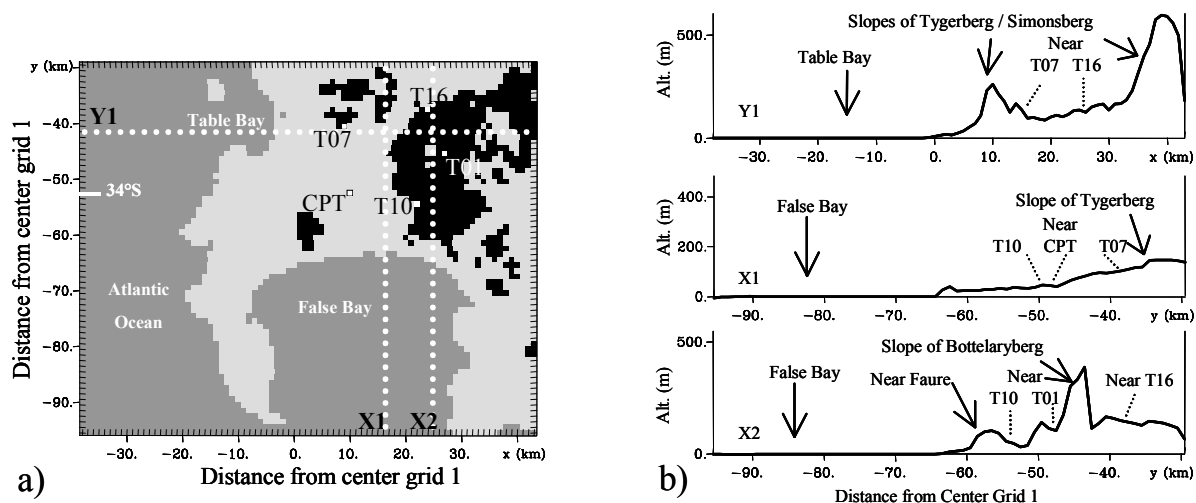
La température est la composante climatique qui affecte le plus le fonctionnement de la vigne et de ce fait, la qualité des raisins. En Afrique du Sud, il a été montré par exemple, qu'une ambiance thermique fraîche favorisait le développement et le maintien de certains arômes dans les vins de Sauvignon blanc (Marais et al., 1999). Les particularités météorologiques liées à brise de mer, notamment son effet rafraîchissant, ont de ce fait, attiré l'attention de l'industrie viticole sud-africaine, en raison de leurs effets significatifs sur la qualité du vin. La brise de mer est habituelle en février (période de maturation pour la plupart des cépages cultivés dans la région du Cap : Bonnardot, 1999) dans la Province Occidentale du Cap, mais l'interaction entre la circulation de brise et la circulation synoptique est encore mal connue sur cette région, de même que le rôle de la topographie, très accidentée ici. Les recherches menées sur la brise de mer dans cette région ont eu d'abord pour objectif de déterminer la distance de pénétration de la brise dans l'intérieur des terres, sur l'espace viticole. La simulation numérique est apparue nécessaire pour analyser la structure verticale de l'atmosphère durant les journées d'observation de la brise, et analyser de façon détaillée la circulation de brise et ses effets (Planchon, et al., 2000 ; Bonnardot et al., 2002). Le but de cet article est de montrer, à l'aide des résultats des simulations numériques, l'évolution dans le temps et dans l'espace de la brise de mer, et son influence sur la température dans la région viticole de la Province Occidentale du Cap durant la période de maturation du raisin.

1. Méthode

Les données horaires de surface mesurées par cinq stations automatiques du réseau de l'ARC-Nietvoorbij, situées dans les vignobles de Stellenbosch et de Paarl, à différentes distances des côtes de la Table Bay (à l'ouest) et de la False Bay (au sud), ont été analysées pour le mois de février 2000. Les données de surface et d'altitude de l'aéroport international du Cap ont été aussi utilisées pour étudier la circulation synoptique. Trois journées représentatives de différentes situations météorologiques estivales caractéristiques de la région étudiée ont été sélectionnées pour effectuer les simulations numériques (3.02.2000, 18.02.2000 et 19.02.2000). Les simulations ont été effectuées au moyen du

modèle méso-échelle RAMS (Regional Atmospheric Modelling System : Pielke et al., 1992), intégrant quatre grilles imbriquées à mailles de 25 km, 5 km, 1 km et 200 m de côté. Les résultats sont présentés pour la grille à mailles de 1 km et à l'aide de coupes verticales au-dessus des vignobles de Stellenbosch et de Paarl. (fig.1).

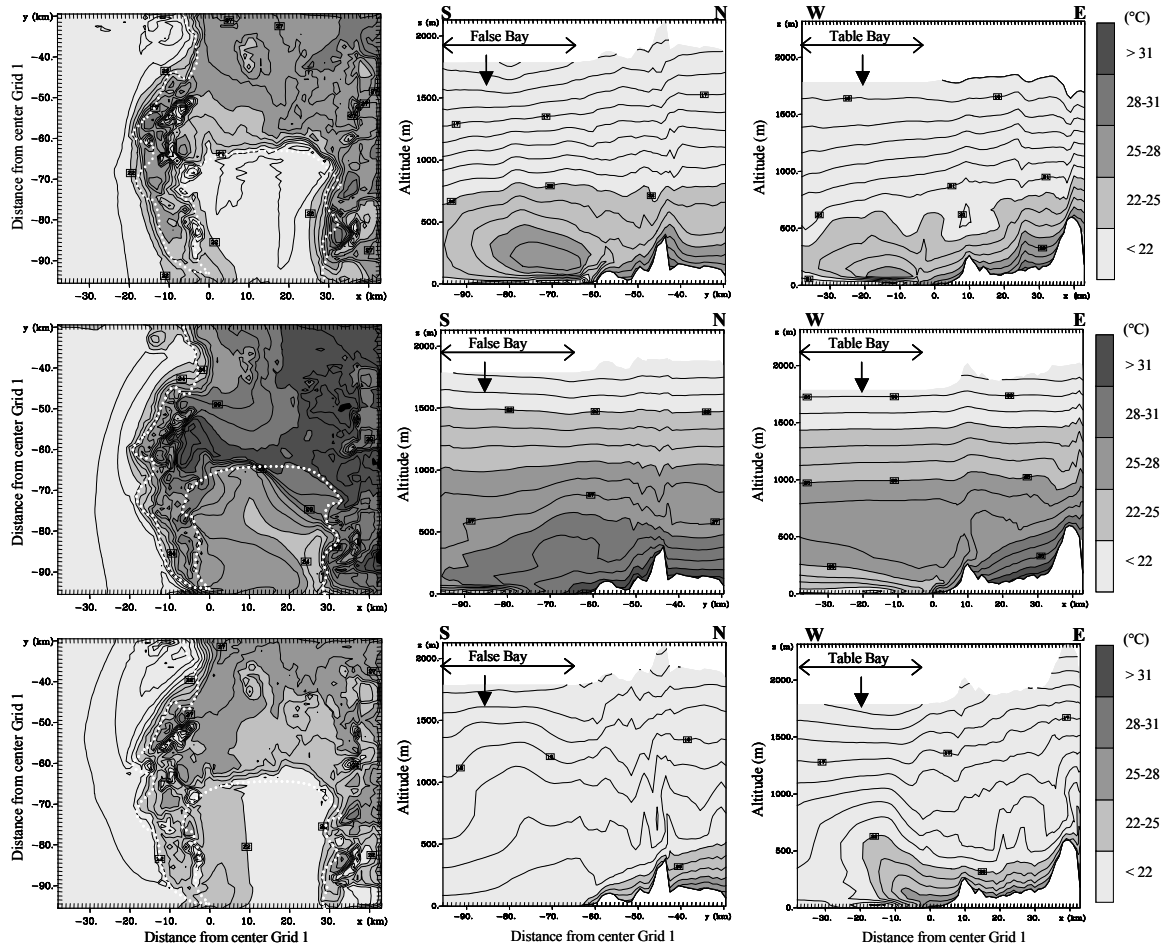
Fig. 1. a) Domaine étudié et simulé couvert par la grille à mailles de 1 km (d'après V. Bonnardot, 2002). Localisation des stations météorologiques (T01, T07, T10, T16 ; sauf T28 située en dehors des limites de la grille) dans le vignoble (en noir) et tracé des transects (Y1, X1 et X2); b) Topographie le long des trois transects. Les distances (km) sont données par rapport au centre de la grille 1 (33°5'S/18°5'E).



2. Résultats

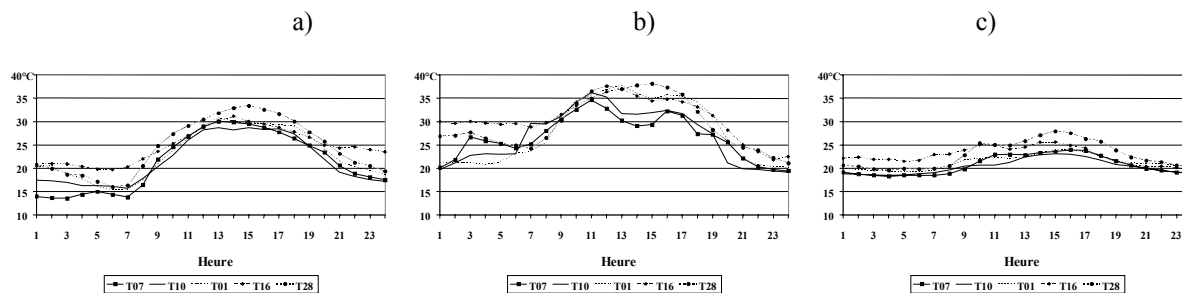
Les moyennes calculées pour février 2000 montrent que les stations les plus proches de la côte sont les plus fraîches. Leurs températures maximales ont aussi été enregistrées plus tôt dans la journée que pour les stations situées plus à l'intérieur des terres (Bonnardot, 2002). L'étude de journées représentatives de différentes situations météorologiques est essentielle à une meilleure compréhension du développement des circulations de brise de mer et leurs effets. Le 3 février, la région était affectée par un flux dominant de sud d'origine océanique. Malgré une ambiance légèrement plus chaude et sèche que la moyenne mensuelle, cette journée était la plus représentative des conditions météorologiques habituelles de la période de maturation. Le 18 février, un fort ($> 10 \text{ m.s}^{-1}$) vent dominant de nord ou berg wind a imposé des conditions très chaudes et sèches en surface : la température maximale a atteint 37.4°C à l'aéroport du Cap (valeur la plus élevée du mois). La journée du 19 février était par contre l'une des plus fraîches du mois, en raison du flux dominant d'ouest (masse d'air océanique). Les résultats des simulations montrent clairement le flux dominant qui se combinait à la brise de mer et la renforçait, le 3 et le 19 février, et le flux de nord de la journée du 18 février qui déviait la brise de la Table Bay vers le sud et empêchait la pénétration vers l'intérieur de celle de la False Bay. Le vent de sud favorisait la pénétration de la brise de la False Bay durant la journée du 3 février. Le berg wind du 18 février s'opposait à la pénétration de la brise de la False Bay à 14:00, tandis que celle de la Table Bay, renforcée une dépression sur la côte occidentale, pénétrait par l'ouest sur le vignoble de Stellenbosch jusqu'aux Tygerberg Hills (Bonnardot et al., 2004). La brise de la False Bay s'est développée plus tard dans la journée et, ayant pénétré à 10 km à l'intérieur à 17:00, convergeait avec la brise de la Table Bay sur le vignoble (Bonnardot et al., 2004). A 14:00, la température s'élevait du sud au nord par flux dominant de sud (Fig. 2a, gauche), alors qu'elle s'élevait d'ouest en est par flux de nord (fig.2b, gauche).

Fig. 2 : Température (°C) à 14:00 a) le 03.02.2000, b) le 18.02.2000 et c) le 19.02.2000. Coupe horizontale en surface (à gauche ; trait de côte en pointillés blancs), coupe verticale X2 (au centre), coupe verticale Y1 (à droite). Heures locales : GMT + 2. D'après V. Bonnardot, 2002



Un gradient thermique resserré était visible au contact entre l'air maritime et l'air continental. Une inversion thermique était bien visible dans les basses couches, liée à l'air maritime frais dirigé vers l'intérieur des terres par la brise de mer, et glissant sous l'air continental plus chaud (autour de la False Bay le 3.02.2000 : fig. 2a, X2 ; de la Table Bay le 18.02.2000 : fig. 2b, Y1). Des différences de température de 2 à 4°C ont été simulées entre certains versants, avec une atténuation des contrastes en direction de l'intérieur. Le flux de sud du 3 février a accentué les contrastes thermiques entre les versants sud exposés à la brise donc plus frais et les versants nord plus chauds : fig. 2a, X2. Le berg wind du 18 février a accentué les contrastes entre les versants ouest exposés à la brise donc plus frais et les versants est plus chauds : (fig. 2b, Y1). Le 19 février, la masse d'air uniformément frais a atténué le gradient thermique terre-mer et rendu insignifiant l'effet rafraîchissant de la brise de mer. Seule peut être notée l'augmentation de la température vers l'intérieur des terres (fig. 2c). Les mesures des stations météorologiques du vignoble confirment les résultats des simulations (fig. 3).

Fig. 3 : Température (°C) mesurée a) le 3.02.2000, b) le 18.02.2000 et c) le 19.02.2000 par les cinq stations de référence dans les vignobles de Stellenbosch et de Paarl (heures locales)



Le 3 février, la baisse de température a atteint 2°C entre 13:00 et 14:00 ou entre 14:00 et 15:00, selon le site (fig. 3a). La situation du 18 février a été compliquée par la pénétration de deux brises, de la Table Bay vers 14:00 puis de la False Bay vers 17:00. Les stations T07 et T10 ont enregistré leur température maximale à 11:00 (34 et 36°C), puis celle-ci a baissé jusqu'à 14:00 pour atteindre 28 et 32°C (fig. 3b). La baisse de température a donc atteint 6°C en 3 heures. Les stations T01 et T16 ont enregistré leur température maximale 2 heures après T07 et T10. La baisse de température a été moins forte que celle enregistrée par les stations précédentes (3°C). Aucune baisse de température n'a été enregistrée dans la journée plus loin à l'intérieur (station T28), d'où une différence de température de 9°C à 14:00 entre T28 et la station la plus fraîche (T07), à 28 km de distance. Durant la journée fraîche du 19.02.2000, l'effet thermique de la brise de mer a été limité à une baisse de température ne dépassant pas 1°C. La différence de température entre les stations a atteint 5°C au maximum, à 14:00 (fig. 3c).

Conclusion

La baisse de température mesurée durant les journées d'été dans la région viticole de la Province Occidentale du Cap est due à l'effet des brises de mer venant de la False Bay ou de la Table Bay, plus ou moins puissantes en fonction de la circulation d'échelle synoptique. Le développement, la distance de pénétration et les effets des brises de mer varient donc d'un jour à l'autre et leurs effets thermiques peuvent être accentués par la topographie. Le rafraîchissement provoqué par la brise de mer est d'autant plus accentué que la température est élevée sur le continent. Dans ce cas, le rafraîchissement lié à la brise réduit la durée et l'intensité du stress thermique de la vigne.

Remerciements : Wine Industry Network of Expertise and Technology in South Africa ; Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur (project amp2107).

Références bibliographiques

- BONNARDOT, V., 1999 : Étude préliminaire des brises de mer pendant la période de maturation dans la région viticole du Cap en Afrique du Sud. Pub. AIC, 12: 26-33.
- BONNARDOT V., 2002 : The sea breeze: a significant climatic factor for viticultural zoning in coastal wine growing areas. Proc. 4th Int. Sym. Viticultural zoning, Avignon, 339-348.
- BONNARDOT, V., CAUTENET, S., PLANCHON, O., DU PREEZ, C. et CAREY, V., 2002 : Atmospheric modelling: a tool to assess the sea breeze effect in the South Western Cape winegrowing area. Proc. XXVII Congrès de l'Office International de la Vigne et du Vin, Bratislava (sur CD).
- BONNARDOT, V., PLANCHON, O. et CAUTENET, S., 2004 : The sea breeze development under a "Berg wind" meteorological situation in the South Western Cape and implications over the Stellenbosch wine-producing area. Theor. Appl. Climatol., sous presse.
- MARAIS J., HUNTER J.J. and HAASBROEK P.D., 1999 : Effect of canopy microclimate, season and region on Sauvignon blanc grape composition and wine quality. S. Afr. J. Enol. Vitic., 20: 19-30.
- PIELKE, R.A., COTTON, W.R., WALKO, R.L., TREMBACK, C.J., LYONS, W.A., GRASSO, L.D., NICHOLLS, M.E., MORAN, M.D., WESLEY, D.A., LEE, T.J. et COPELAND, J.H., 1992 : A comprehensive Meteorological Modeling System- RAMS. Meteorol. Atmos. Phys. 49: 69-91.
- PLANCHON, O., BONNARDOT, V. et CAUTENET, S. 2000 : Simulation de brise de mer (résolution à 5 km) exemple de la journée du 4 février 2000 dans la Province Occidentale du Cap. Pub. AIC, 13: 482-489.

**RECONSTRUCTION DES CHAMPS DU VENT AU SOL
PAR L'ANALYSE DE LA DEFORMATION DE LA VEGETATION**

M.A. Pulina **, *G. Brancucci *** et *G. Paliaga **

* Dipartimento. di Ingegneria del Territorio, Via De Nicola 07100 Sassari, Italia

e-mail : pulina@uniss.it

** Dipartimento POLIS, Str.ne S. Agostino 37, 16132 Genova

e-mail : brancucci@arch.unige.it

Résumé : L'objectif principal de l'étude est celle d'analyser les relations existantes entre les régimes des vents et la déformation de la végétation, avec le but de pouvoir utiliser cette dernière comme indicateur des champs du vent au cas où les données instrumentales sont absentes. Les paramètres principaux de la déformation ont été exprimé à travers deux index: rapport de déformation du feuillage, représentatif de l'intensité du vent dominant, et rapport de déformation du feuillage vis-à-vis du tronc, indicatif du degré d'asymétrie de la plante. On a pu construire une mappe de la direction de déformation de la végétation, qui a mis en évidence comme la déformation arrive réellement en direction des vents dominants.

Mots clés : champs du vent, déformation de la végétation, La Maddalena, Sardaigne.

Abstract: The main object of this study is to analyse the existing relations between wind regimes and deformation of the vegetation, in order to utilize the latter as an indicator to the wind fields in the absence of instrument datas. The main parameters of deformation have been expressed through two indexes: the relation of the foliage deformation, representative of the dominant wind intensity, and the relation of the foliage deformation vis-à-vis of the trunk, indicative of the asymmetric degree of the plant. We were able to draw a map on the direction of deformation of the vegetation, that has put into evidence how deformation really occur in the direction of the dominant winds.

Key words: wind fields, deformation of the vegetation , La Maddalena, Sardinia .

Introduction

Le but de cette recherche est d'analyser la relation entre les flux du vent et la déformation de la végétation pour voir s'il est effectivement possible utiliser cette dernière comme indicateur des champs du vent au sol. Pour évaluer le degré de déformation on a proposé une méthodologie du type quantitatif, dont la bibliographie de référence est apparue insuffisante. Comme zone d'étude on a choisi l'archipel de La Maddalena, situé à NE de la Sardaigne (Italie) (Figure 1) à cause de ses quelques caractéristiques importantes: l'exposition à des vents forts, la présence de végétation déformée et celle d'une station météorologique pour repérer des données du vents

1. Méthodologie

En premier lieu on a conduit une analyse des conditions anémométriques moyennes, à travers les données de la station de Guardia Vecchia (157 m s.l.m) relatives à la période de trente ans 1960-1991.

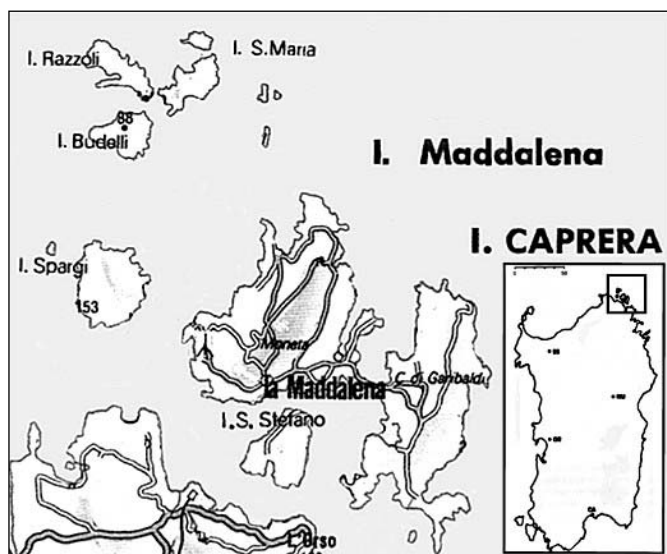


Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude

Pour ce qui concerne l'étude de la déformation, on a effectué la géoréférentiation de chaque organisme végétal à travers le GPS (Global Position System) et on a procédé à la recherche des paramètres suivants: la direction de la déformation, l'inclinaison du feuillage et l'altitude à laquelle la plante pousse. En plus, à chaque individu singulier on a pris des séries de photographies qui permettent l'évaluation du degré de la déformation des plantes. Sur chaque photographie on a mesuré les segments suivants (fig. 2) : 1) AB = longueur maximale du feuillage; 2)

EF = hauteur maximale du feuillage ; 3) le segment passant par C et perpendiculaire à la base du tronc, selon lequel la plante aurait dû croître si elle n'avait pas été déformée. Par conséquent les suivants paramètres ont été calculés: a) le degré de la déformation du feuillage, à travers le rapport entre AB et FE, et b) le degré d'asymétrie de la plante, exprimé par la déformation du feuillage à l'égard du tronc, à travers le rapport entre les segments DB et DC, où D représente le barycentre du feuillage.

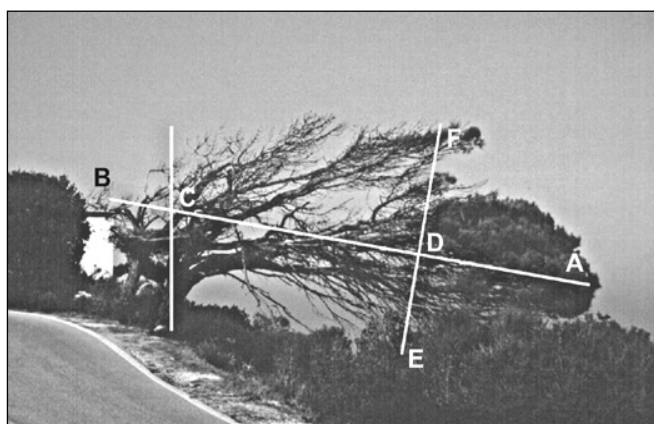


Fig. 2 : Les segments pour l'évaluation de la déformation du feuillage

Enfin dans le but de mettre en évidence une relation possible entre la déformation de la végétation et la morphologie de la zone, deux cartes ont été tracées et confrontées : une représentant les directions de la déformation et une autre qui représente la morphologie de la zone.

2. Analyse des données

L'analyse de la ventosité, effectuée au niveau mensuel, met en évidence comment le vent dominant durant toute l'année est celui de l'Ouest (37,1 % des fréquences), mais en générale tous les courants de Sud Ouest à Nord Ouest sont les plus fréquents (60,2 %), suivis des flux provenant du I quadrant (22,3 %). Pour ce qui concerne l'intensité du vent, la grande majorité des fréquences (65,9 %) sont comprises entre 7 et 20 nœuds et les vents plus forts (>33) sont plus fréquents pendant le mois de septembre tandis que les vents plus faibles (entre 1 et 6 nœuds) sont insuffisants pendant toute l'année.

L'étude de la ventosité d'une zone, en particulier celle de l'intensité du vent permet de connaître quelle peut être «l'influence phénotypique» des courants sur la végétation et par suite d'évaluer la «réponse phénotypique» elle-même aux conditions de ventosité. En fait on a démontré que les plantes réagissent différemment selon la vitesse avec laquelle les courants soufflent et selon la période : en particulier, la végétation subit la déshydratation et la destruction des bourgeons exposés au dessus du vent et, à cause de la vitesse supérieure à 16 Km/h, la réduction des dimensions des feuilles et des entrenœuds (Whitehead e altri.1993). Elle continue à avoir une croissance plus ou moins régulière dans la partie sous le vent, assumant une forme asymétrique et quelques fois prosternée.

La végétation de l'archipel de La Maddalena est complètement constituée de maquis méditerranéen, caractérisé par un accroissement primaire du type polycyclique ; cela veut dire que, si le climat est favorable, les plantes peuvent avoir une ou plusieurs périodes de bourgeonnement pendant toute l'année. De l'autre côté on a constaté que le vent de l'Ouest est toujours présent dans l'archipel, avec une vitesse suffisante pour provoquer un certain «stress » sur la végétation, laquelle peut subir, dans n'importe quelle période et plusieurs fois pendant l'arc de la même année, des dégâts importants à cause des flux d'air.

Le relèvement de la végétation a intéressé les espèces suivantes : *Pinus pinea*, *Olea europea*, *Pistacia lentiscus* et *Juniperus phoenicea*. En premier lieu on a cherché de mettre en évidence les relations entre les paramètres mesurés: la direction de la déformation de la plante, l'inclinaison du feuillage et l'altitude. On a observé une relation du même genre entre la direction de la déformation et l'inclinaison du feuillage, ainsi que entre la direction de la déformation et l'altitude ; en fait on a identifié dans les deux cas, deux groupes d'individus qui suivent les mêmes directrices principales de déformation: celles des 100-120° et celles des 290-300°. Pourtant on a observé que, quelle que soit l'altitude et l'inclinaison du feuillage de la plante, il n'y a aucune correspondance avec les données relatives à la direction de la déformation qui néanmoins ne varie pas en fonction des espèces considérées. Au contraire, l'analyse du degré d'asymétrie des plantes met en évidence la tendance à une forte asymétrie du feuillage à l'égard du tronc (valeurs du rapport BD/CD égal ou très proche à l'unité), dans les trois espèces arborescentes considérées, une tendance plus marquée dans le genévrier et dans le pin : en fait on a pu observer comment dans beaucoup d'individus les branches sont complètement pliées d'un côté, conférant de cette manière la forme classique en drapeau.

L'objet de la dernière partie de l'étude a été l'influence possible de la morphologie locale et de la zone entière de l'archipel sur la déformation de la végétation. A partir de la carte de l'archipel (Figure 1), on a indiqué les directions prédominantes de déformation de la végétation ; on a observé dans quelle manière l'île de La Maddalena est divisée en deux zones principales : celle du Centre Sud, où l'influence du vent d'Ouest est dominant, et celle du Centre Nord, où au contraire l'influence des courants provenant de Nord Ouest apparaît évidente. Sur l'île de Caprera la situation est un peu différente, vu que les courants du Sirocco et du Levant, provenant respectivement du Sud Est et d'Est, s'ajoutent aussi aux courants du Ponant et du Mistral. Cela est dû à la morphologie des îles singulières et à l'effet protecteur de quelques-unes d'elles. En effet une partie l'île de La Maddalena est protégée par le vent du Ponant de l'île de Spargi, tandis que le trait de mer plus au Nord ne pose pas d'obstacles au vent du Mistral, qui en effet est le plus répandu sur tout le territoire. Les deux courants sont assez forts pour dépasser l'étroit bras de mer qui sépare les deux îles majeures et aussi pour influencer la végétation de Caprera. Ici ils interfèrent avec les flux venants d'Est à Sud Est, qui grâce à leur intensité mineure restent localisés dans cette zone.

Les exceptions qu'on observe sur l'île de La Maddalena sont dues à la morphologie locale. En fait on a remarqué que les plantes présentent des anomalies à l'égard de la déformation générale si elles sont protégées par d'autres végétations ou par des structures comme des murets, des maisons ou des parois de rocher. On a également constaté la présence de gorges avec des végétations basses qui ne présentent aucun genre de dégât grâce à l'exposition particulière de la gorge elle-même aux vents.

Conclusion

A partir de la recherche effectuée sur la ventosité, les caractères de la morphologie et la déformation de la végétation dans les deux îles majeures de l'archipel de La Maddalena, il est apparu comment la déformation de la végétation se produit réellement dans les directions des courants qui pendant toute l'année sont dominants sur les autres, soit en fréquence soit en intensité. Par suite les associations végétales peuvent être considérées des indicateurs valides des flux du vent au sol. La méthodologie utilisée, basée sur des méthodes quantitatives, offre la possibilité de tracer selon la direction de la déformation de la végétation, les cartes des flux du vent au sol qui sont utiles, par exemple, pour la prévention des incendies.

Enfin à travers l'analyse de la déformation on peut avoir une idée de l'intervalle d'intensité, utile pour une exploitation éventuelle de la zone sous le profile de l'énergie éolique. En particulier, dans la zone de l'archipel, on a vérifié que l'allure des flux au sol est la même des courants en altitude : dans ce cas on pourrait penser à la construction de structures plus basses et par conséquent qui ont un impact environnemental mineur.

Références bibliographiques

ALCOFORADO M. J., 1992 : O clima da região de Lisboa, Contrastes e ritmos térmicos. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.

CARREGA P., 1995 : Une procedure d'identification automatique et en temps reel du regime du vent. Publications de l'Association internationale de Climatologie, 8, 13-21.

WHITEHEAD F. H., RIZZOLI N., 1993 : Ecologia applicata alla conservazione della natura", Ed. Edagricole, 63-78.

**VARIABILITE SPATIALE DES MICROCLIMATS
DANS LE VIGNOBLE DE VINHO VERDE
(REGION DO ENTRE DOURO E MINHO, PORTUGAL)**

H. Quénol¹, G. Beltrando¹, A. Monteiro² et A. Maciel²

¹ UMR 8586 du CNRS (PRODIG), Equipe Dynamique des Milieux et des Risques
Université Denis Diderot, Paris VII
e-mail : quenol@hotmail.com

² Departamento da Geografia - Universidade do Porto, Portugal
e-mail : anamt@letras.up.pt

Résumé : Une étude microclimatique est réalisée dans le vignoble de Vinho Verde (nord-ouest du Portugal). Elle a pour objectif de mettre en évidence la forte variabilité spatiale du climat sur des espaces relativement restreints afin de mieux caractériser les terroirs.

Mots clés : échelles fines, vinho verde, terroir viticole

Abstract: Microclimatic study is carried out in the Vinho Verde vineyard (Portugal north-west). It aims to show the important spatial variability of the climate on restricted spaces in order to better characterize the soils and to improve wine quality.

Key words: fine scales, vinho verde, vineyard

Introduction

L'étude microclimatique réalisée dans le vignoble de Vinho Verde (nord-ouest du Portugal) s'inscrit dans le projet d'Atlas Agroclimatico do Entre Douro e Minho (EDM). Ce travail doit mettre en évidence la forte variabilité spatiale du climat sur des espaces relativement restreints qui influence fortement les caractéristiques des terroirs et la qualité des vins. Les conditions climatiques optimales pour la vigne sont rencontrées sur de petits espaces : l'exposition, la pente, l'altitude, etc ... sont autant de facteurs pouvant faire varier les paramètres météorologiques sur quelques dizaines de mètres et donc, de provoquer une forte variabilité spatiale des risques climatiques (gel, stress hydrique, ...) et de certaines pathologies (mildiou, oïdium, ...).

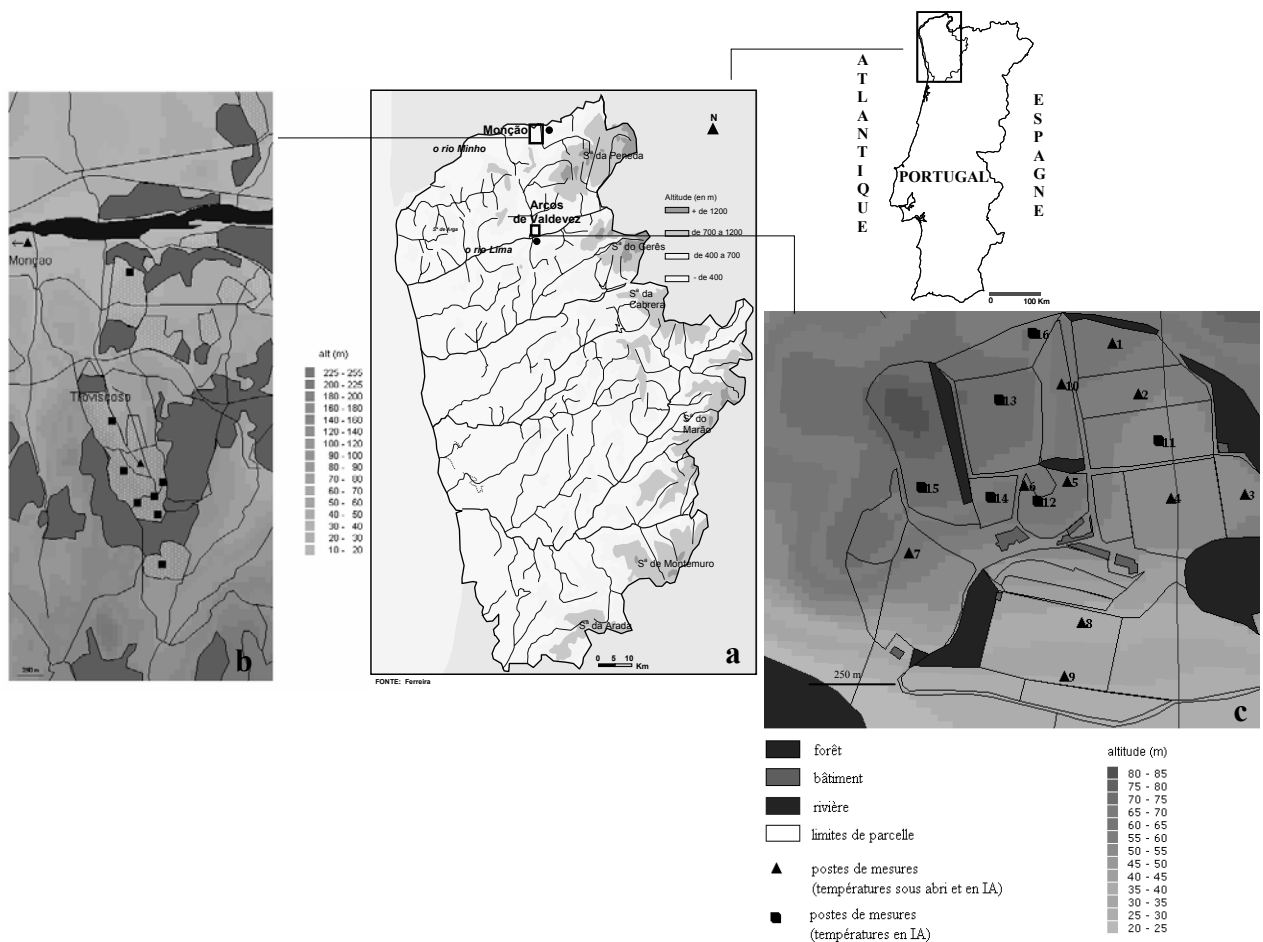
Pour définir les spécificités climatiques locales d'un vignoble, les stations régionales sont souvent trop espacées (en moyenne 1 station tous les 30 km dans la région "do Entre Douro e Minho") et elles ne permettent pas de mettre en évidence les variations microclimatiques. Face à l'insuffisance du réseau classique, la mise en place d'un dispositif de mesures météorologiques adapté aux échelles fines est nécessaire pour déterminer et comprendre la forte variabilité spatiale du climat surtout lorsque le terrain est accidenté. Un protocole de mesures météorologiques et agronomiques, adapté aux échelles fines, a été mis en place dans deux vignobles voisins (moins de 30 km) réputés pour la qualité de la vigne mais dont les différences de cépages et des types de vin (taux d'alcool, couleur, ...) laisse entrevoir des conditions climatiques locales spécifiques. L'analyse des données météorologiques a permis de définir les conditions (topoclimatiques) favorables pour la culture de la vigne.

1. Secteur d'étude et matériel de mesures

1.1. Sites expérimentaux

L'étude se déroule dans le nord-ouest du Portugal, plus précisément dans la « Région Démarquée des Vinhos Verdes ». Cet espace est caractérisé par un relief accidenté, dont les altitudes croissent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'océan Atlantique (1545m). La présence des reliefs immédiatement à l'Est du littoral limite très rapidement l'influence océanique et favorise une forte variabilité spatiale des paramètres climatiques (fig 1a). Les deux terrains expérimentaux sont distants d'environ 30 km et se situent dans les vallées du Lima (près d'Arcos-de-Valdevez) et du Minho (près de Monção et Trovisoso, dans un vallon orienté sud/nord). Ces deux sites présentent une topographie accidentée et sont peu soumis à l'influence maritime (fig 1b et c).

Fig. 1 : Modèle Numérique de Terrain du Nord-Ouest du Portugal (a) et localisation des sites expérimentaux de Monção (b) et de Arcos-de-Valdevez (c).



Le vignoble d'Arcos-de-Valdevez se situe sur la station viticole "Amandio Galhano" (fig 1c). Deux variétés de vignes sont principalement cultivées : le Loureiro et le Vinhão. Le Loureiro présente une très bonne qualité et est cultivé dans l'ensemble de la région, s'adaptant très bien aux conditions littorales. Cette variété de vin blanc a un débourrement assez précoce - donc sensible au gel printanier - et une maturation moyenne. Le vinhão est une variété de vin rouge (tinto) qui présente un débourrement tardif et une maturation moyenne. Cette variété est vigoureuse et de production régulière (Monteiro, 2003). La topographie du site se caractérise par une succession de replats subhorizontaux (terrasses) d'orientation Nord-Sud (alt. 50 à 60m) bordés de mamelons (alt. max. 80 m) et aboutissant dans la vallée du Lima (orientation Ouest-Est ; alt. 30m). La pente générale d'orientation nord-sud est d'environ 3°.

Le vignoble de Monção/Troviscoso est composé de la variété Alvarinho. Elle prédomine à Monção, région dans laquelle elle se restreint. Elle est caractérisée par une très bonne qualité mais exige des conditions pédo-climatiques spécifiques, cela expliquant sa localisation très précise et le faible nombre d'hectares cultivés (moins de 100 000 ceps). Précoce au débourrement et à la maturation, cette variété est très sensible aux forts refroidissements printaniers et supporte très mal les importantes amplitudes thermiques. La topographie du site correspond à une vallée d'orientation sud-nord rejoignant la vallée du Minho (est-ouest). La présence de reliefs relativement hauts (dénivelé important par rapport au fond du vignoble) au sud, à l'ouest et à l'est du site et le resserrement de la vallée au nord, font que la vallée de Troviscoso se situe dans un "cirque".

1.2 Protocoles et instruments de mesures

Cette étude s'appuie sur les données thermiques relevés par douze capteurs, placés sous abri et disposés sur les deux sites. Ces capteurs ont enregistré la température toutes les quinze minutes entre février 2003 et octobre 2003 (période d'activité de la vigne). Dix postes sont répartis à Arcos-de-Valdevez en fonction des caractéristiques topographiques et environnementaux du site (pente, exposition, terrasse, cuvette, ...), un poste se situe sur une parcelle viticole en bordure du Rio Minho à Monção (alt. 20m) et un autre est disposé en fond de vallée dans le vignoble de Troviscoso (alt. 65m) (fig 1). Des mesures (T°C en indices actinothermiques, écoulements nocturnes) ont également été effectuées durant la période où le risque de gel est dommageable pour la vigne (février à mai).

2. Résultats

Les mesures météorologiques sous abris (diurne et nocturne) et en indice actinothermique (nocturne) ont mis en évidence une forte variabilité spatiale du climat sur des espaces relativement restreints : entre les deux sites expérimentaux (distants de quelques kilomètres) et à l'intérieur même du site (quelques mètres).

Le microclimat sur le site d'Arcos-de-Valdevez se définit par une forte variabilité spatiale des températures diurnes et nocturnes engendrée par la topographie. Les températures diurnes sont plus élevées sur les secteurs en pente exposés favorablement au rayonnement solaire, inversement, les terrasses ou les dépressions enregistrent des valeurs plus faibles (tab 1).

Tab. 1 : Moyenne mensuelle des températures maximales sous abri

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Trov.	Minho
Moyenne	27,1	26,8	27,2	26,5	26,6	27	27,3	N	25,5	26,9	N	N
Moy. Février	14,3	14,4	14,8	14	13,8	14,4	14,6	N	14,1	14,1	N	N
Moy. Avril	22,3	22	22,4	22	21,7	22	22,8	21,9	21,9	21,8	21,1	22,4
Moy. Mai	21,9	21,3	21,7	21,6	21,6	21,7	23,4	21,3	21,3	22,2	21,1	21,4
Moy. Juin	31,4	31,3	31,2	31,5	31,2	31,9	N	29,6	29,6	31,8	30,6	30,2
Moy. Juillet	32,1	31,1	32	31,1	31,1	31,5	32,5	30,7	29,5	31,8	30,2	31,3
Moy. Août	35,6	35,7	36,8	34	35,7	36,4	37,3	34,6	33,4	36	N	35,4

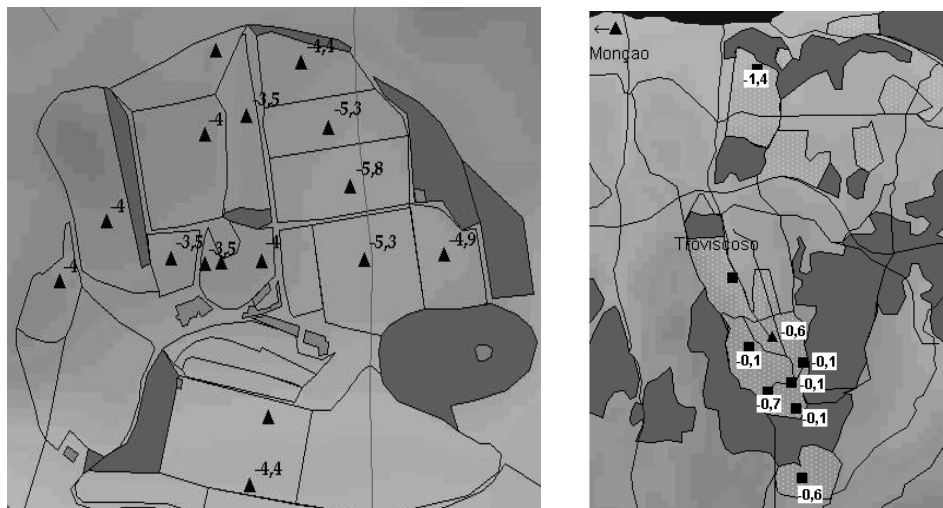
Les températures nocturnes sont plus faibles sur les terrasses ou dans les secteurs où l'air froid véhiculé par les écoulements gravitaires a tendance à s'accumuler (tab 2). Par conséquent, au printemps, les vignes situées sur les coteaux enregistrent des conditions thermiques diurnes et nocturnes relativement élevées. Ces conditions sont favorables pour les cépages sensibles aux gelées printanières tels que le Loureiro (cultivé sur les coteaux de ce terroir). Sur les terrasses, les températures diurnes et nocturnes sont beaucoup plus basses avec notamment de très faibles valeurs relevées lors de nuits gélives pouvant entraîner la destruction des bourgeons (fig 2). Toutefois, dans les secteurs les plus froids, le cépage cultivé est le Vinhão. Cette variété à débourrement tardif est peu sensible au gel printanier.

Durant la période de maturation de la vigne, la variabilité spatiale des températures diurnes est très forte d'où des différences importantes de taux de sucre et d'alcool pour les différents cépages. Les vignes situées sur une pente $>5^\circ$, en sommet de collines sont sujettes à des risques de stress hydrique (tab 1).

Tab. 2 : Moyenne mensuelle des températures minimales sous abri

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Trov.	Minho
Moyenne	6	5,7	5,8	5,4	6,3	6,6	6,2	N	5,9	6,3	N	N
Moy. Février	3,1	2,6	2,9	2,3	3,6	4,2	3,5	N	2,9	3,6	N	N
Moy. Avril	6,2	5,7	6	5,5	6,5	6,9	6,3	6,1	6	6,5	6,3	6,4
Moy. Mai	7,3	7,2	7,1	6,9	7,7	7,6	7,4	7,3	7,3	7,7	8,5	8,2

Fig. 2 : Températures minimales en IA lors de la nuit radiative du 15 au 16 février 200 à Arcos-de-Valdevez (a) et à Monção (b).



Le microclimat dans la vallée de Troviscoso/ Monção se caractérise par une variabilité spatiale thermique nettement moins forte qu'à Arcos-de-Valdevez. L'aérodologie locale explique que le refroidissement nocturne radiatif est peu important et que les températures diurnes sont moins élevées qu'à Arcos-de-Valdevez. La nuit, la présence d'écoulements gravitaires d'une vitesse supérieure à 3 m/s, engendrés par les fortes pentes des reliefs adjacents, limite la baisse des températures. En situation gélive radiative, les températures du site sont homogènes et les écarts avec Arcos-de-Valdevez sont considérables : jusqu'à 7°C. Le jour, le rayonnement solaire acquis par ces mêmes fortes pentes engendre la formation de brises diurnes montantes qui brassent l'air superficiel et limitent le réchauffement solaire. Donc, ce terroir est caractérisé par des températures minimales printanières assez élevées et par une faible amplitude thermique diurne/nocturne. Ces conditions climatiques sont très favorables au cépage Alvarinho qui est très sensible aux basses températures et qui ne supporte pas les fortes variations de températures. Ce microclimat, très localisé, explique (en partie) la très faible surface où ce cépage est cultivé (quelques exploitations dans la région de Monção et de Melgaço). La configuration topographique du vignoble d'Alvarinho est très proche de celle de Troviscoso (vallée fermée transversale à la vallée du Minho) (Quénol, 2004).

Conclusion

Les résultats de ce travail montrent l'utilité de la connaissance du climat local pour mieux orienter les projets d'aménagement viticole futur et pour mieux choisir les cépages adaptés aux spécificités climatiques locales.

Références bibliographiques

MONTEIRO A., 2003 : Atlas agroclimatico do entre Douro e Minho. Projecto POCTI/GEO/14260/1998. 345p (publication prochaine).

QUENOL H., 2004 : Evaluation des potentialités climatiques aux échelles fines dans le vignoble de Vinho Verde (région do Entre Douro e Minho). Rapport "Programme Lavoisier du Ministère des Affaires Etrangères", 52p.

PRESSION ATMOSPHERIQUE ET MORTALITE A BARCELONE (1990-1997)

J. M. Raso, L. Gomez et M^a. C. Moreno

Grup de Climatologia. Universitat de Barcelona, Espagne

e-mail: raso@ub.edu

Résumé : L'analyse statistique de la mortalité journalière et la pression atmosphérique prélevées à Barcelone pendant 8 années suggère un fort lien entre ces variables et permet de définir les seuils barométriques de mortalité journalière minimale moyenne, à partir desquels une variation de la pression atmosphérique comporte un certain incrément du risque de mort. Les personnes de moins de 65 ans paraissent à peine sensibles aux variations barométriques.

Mots-clés : mortalité, pression atmosphérique, maladies cardiovasculaires, maladies respiratoires, Barcelone, ajustement polynomial.

Abstract: The statistical analysis of daily mortality and atmospheric pressure recorded in Barcelona for eight years suggests a link between these variables and helps define the barometric thresholds of minimum daily mortality, from which both a decrease and an increase in atmospheric pressure raise the risk of death. People younger than 65 years seem to be barely sensitive to barometric variations.

Key-words: mortality, atmospheric pressure, cardiovascular diseases, respiratory disease, Barcelone, polynomial adjustment

Introduction

Toutes les variables climatiques peuvent altérer l'activité et la vie humaines, mais aucune d'elles ne mérite autant d'attention quant au possible impact sur l'état de santé des personnes comme la température. Malgré tout, actuellement, de nombreux auteurs étudient les effets provoqués par d'autres éléments du climat, comme les précipitations, la radiation solaire, l'humidité, le vent et la pression atmosphérique. On a déjà analysé le rapport entre les températures et une série de modèles synoptiques avec les décès prélevés à Barcelone pendant la période 1990-97 (Raso, 2002 a; Raso, 2002 b). Pour faire une étude plus approfondie des possibles effets du temps et du climat sur la santé humaine, on devrait analyser l'impact d'autres variables, e.g. la pression atmosphérique. On se propose ici d'analyser l'influence de cette dernière sur les taux de mortalité prélevés à Barcelone pendant ces mêmes années.

1. Données et méthodes

Les séries climatiques étudiées comprennent les températures maximale, moyenne et minimale prélevées à l'observatoire Fabra, sur la montagne du Tibidabo, à 412 mètres d'altitude, sous laquelle s'étend la ville de Barcelone. Les données barométriques là-bas prélevées permettront d'estimer la pression atmosphérique journalière maximale, minimale et moyenne qui correspond au niveau de la mer, celle qui règne dans l'espace où habite population étudiée. L'information sur la mortalité journalière de Barcelone pendant 1990-97 fut fournie par l'Institut Municipal de Sanitat et comprend, en plus des décès de personnes de plus et de moins de 65 ans, ceux attribuables à des maladies cardiovasculaires et respiratoires. La pression atmosphérique et mortalité journalières furent sélectionnées et puis analysées statistiquement. On a d'abord calculé la corrélation entre les variables choisies. Après, on a effectué l'analyse de variance et l'ajustement des équations polynomiales susceptibles de refléter la relation entre les mêmes et de quantifier la variance des taux de mortalité explicable à partir des observations barométriques.

2. Résultats

L'évolution de la mortalité journalière moyenne au long de l'année montre un rythme saisonnier simple, marqué par la présence de deux maximums: un de très évident, qui correspond aux mois les plus froids de l'année, et un autre de secondaire, qui, par contre, est détecté pendant les mois les plus chauds. Ce deuxième maximum est précédé et suivi par des minimums d'amplitude relative similaire, notablement plus prononcée pour le postérieur, en septembre, le mois qui après tout montre les taux de mortalité journalière les plus bas.

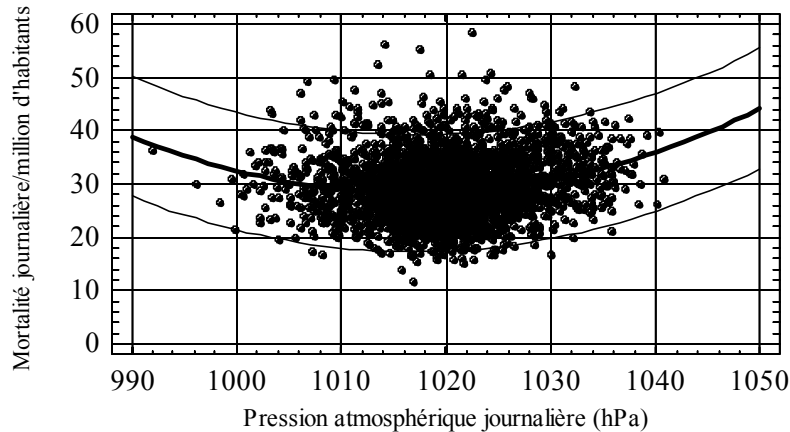
Les résultats des ajustements polynomiaux de deuxième ordre, effectués pour examiner la relation entre la pression atmosphérique moyenne journalière et les cinq taux de mortalité considérés (tab. 1), mettent en évidence une corrélation statistiquement significative entre les taux de mortalité et la pression journalière moyenne. Sauf pour la mortalité parmi les personnes de moins de 65 ans, seul groupe pour lequel la valeur p obtenue dans l'analyse de variance atteint une valeur manifestement supérieure à 0,10 et pourtant semble éloigné de toute influence des variations barométriques journalières.

Tab. 1 : Résultats de l'ajustement polynomial appliqué à la description de la relation entre la mortalité journalière moyenne/million d'habitants: total (M_TOT/mh), chez les personnes de plus de 65 ans ($M>65/mh$), chez celles de moins de 65 ans ($M<65/mh$) à cause de maladies cardiovasculaires (M_CAR/mh) et respiratoires (M_RES/mh), et la pression atmosphérique journalière moyenne ($PAMJ$)

Equations d'ajustement polynomial	Valeur p en ANOVA	Pourcentage variabilité expliquée	Valeur p terme d'ordre supérieur
$M_TOT/mh = 15005,9 - 29,4963PAMJ + 0,014522PAMJ^2$	0,0000	3,80	0,0000
$M>65/mh = 14274,1 - 28,0652PAMJ + 0,0138167PAMJ^2$	0,0000	4,16	0,0000
$M<65/mh = 731,762 - 1,43103 PAMJ + 0,000705343 PAMJ^2$	0,2947	0,08	0,1772
$M_CAR/mh = 8854,27 - 17,4242 PAMJ + 0,00858248 PAMJ^2$	0,0000	4,18	0,0000
$M_RES/mh = 3263,85 - 6,4226 PAMJ + 0,00316183 PAMJ^2$	0,0000	2,60	0,0000

La représentation graphique de l'ajustement de la corrélation entre les taux de mortalité totale journalière par million d'habitants et les valeurs moyennes de pression atmosphérique correspondantes par une courbe polynomiale de deuxième ordre adopte une forme vague de U ou de V. Sa base indique une mortalité minimale entre 1015 et 1016 hPa, point à partir duquel la courbe montre des taux croissants de mortalité, et des valeurs barométriques décroissantes à gauche et croissantes à droite (Figure 1). Les équations polynomiales du tableau 1 permettent de chiffrer ou estimer en 1015,5 hPa la pression atmosphérique qui correspond aux taux plus bas de mortalité des groupes considérés, en particulier celui de mortalité totale, celui de mortalité parmi les personnes de plus de 65 ans et celui de mortalité due à des maladies cardiovasculaires. La représentation graphique des courbes d'ajustement des taux de mortalité de ces groupes par rapport à la pression atmosphérique n'est pas nécessaire, à cause de sa grande similitude avec celle de la figure 1. De la même façon, on peut définir les équations polynomiales de deuxième ordre et la représentation graphique de l'ajustement des taux de mortalité journalière à l'égard de possibles valeurs barométriques extrêmes, mais ces résultats ressemblent ceux obtenus par ajustement avec la pression atmosphérique moyenne journalière, sauf pour le fait que les taux de mortalité journalière moyenne les plus bas correspondent à des valeurs minimales de pression atmosphérique chiffrées en 1015,0 hPa et maximales en 1017,0 hPa. Pourtant, on n'a pas cru nécessaire d'indiquer chacune des équations calculées ni de représenter les courbes d'ajustement correspondantes, lesquelles, essentiellement, n'indiqueraient rien d'autre qu'une descente et une augmentation par rapport aux seuils de pression atmosphérique minimale et maximale comportant une élévation du taux de mortalité, sauf chez les personnes de moins de 65 ans.

Fig. 1 : Relation entre la mortalité par million d'habitantes et la pression atmosphérique moyenne journalière. Ajustement moyennant une courbe polynomiale de deuxième ordre avec indication des limites de prédiction.



L'existence de seuils barométriques comme ceux estimés par ajustement en utilisant des modèles polynomiaux, comporte des relations statistiques de signe opposé entre la mortalité journalière et la pression atmosphérique. Ainsi, seulement les coefficients de corrélation entre les taux de mortalité des personnes de moins de 65 ans et la pression atmosphérique journalière moyenne inférieure et supérieure au seuil respectif de mortalité minimale, chiffré en 1015,5 hPa, sont complètement dénués de signification

Mortalité journalière moyenne par million d'habitants Jours avec une pression atmosphérique journalière moyenne statistique, tandis que ceux obtenus pour les groupes restants sont hautement significatifs et reflètent le lien entre les variations barométriques et les décès journaliers (tab. 2).

Tab. 2 : Relation entre la mortalité par million d'habitants et la pression atmosphérique journalière moyenne inférieure et supérieure à 1015,5 hPa: coefficients de corrélation (r) et signification statistique (p)

Mortalité journalière moyenne par million d'habitants	Jours avec une pression atmosphérique journalière moyenne			
	< 1015,5 hPa		>1015,5 hPa	
	r	p	r	p
Total	-0,1421	0,0000	0,2249	0,0000
65 ans et plus	-0,1521	0,0000	0,2412	0,0000
0-64 ans	-0,0014	0,9441	0,0258	0,2604
Cardiovasculaire	-0,1384	0,0000	0,2313	0,0000
Respiratoire	-0,1254	0,0000	0,1910	0,0000

3. Discussion

Bien qu'on n'ait pas pu vérifier une corrélation significative entre les variations barométriques journalières et les taux de mortalité chez les personnes de moins de 65 ans à Barcelone pendant la période analysée, la pression est une des variables atmosphériques capables d'altérer le bien-être des personnes. Sa relation avec la mortalité des personnes de plus de 65 ans et celle provoquée par des affections ou arrêts cardiovasculaires et respiratoires semble évidente, mais son influence est certes plus modérée que celle exercée par les températures (Raso, 2002 a). Avant ce travail Larcan et al. (1982) avaient déjà proposé que la pression atmosphérique est un facteur discriminant entre deux affections graves comme l'infarctus du myocarde et l'hémorragie intracérébrale, qui est plus fréquente dans des conditions atmosphériques d'haute pression (Danet et al, 1999). Quant aux conséquences des

variations de la pression atmosphérique, les mêmes auteurs ont défini un graphique en forme de V, de façon à ce que les taux de mortalité attribuable à ce type d'affection sont minimaux quand les conditions barométriques se chiffrent en 1016 hPa, tandis que les descentes par dessous ce seuil, ainsi que les incréments significatifs au dessus du même, feraient augmenter le risque de mort.

Conclusion

L'association des variables barométriques avec la santé humaine a été mise en évidence dans un grand nombre d'études. Le lien entre la pression atmosphérique et les taux de mortalité à Barcelone, surtout ceux qui correspondent à des personnes de plus de 65 ans et aux maladies cardiovasculaires et respiratoires, est incontestable. Par contre, on n'a pas pu prouver que les personnes de moins de 65 ans soient visiblement affectées par cette variable atmosphérique à Barcelone.

Références bibliographiques

DANET, S. et al. (1999): Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. *Circulation*(100), pp.1-7.

LARCAN, A. et al. (1982): Climatological parameters and acute vascular neurological and cardiac accidents. *Rev. Epidemiol Sante Publique* 30, pp.343-354. Voir DANET et al. (1999).

RASO, J. M. (2002 a): Relación entre las temperaturas diarias y la mortalidad en Barcelona y su ajuste mediante funciones polinómicas, in GUIJARRO, J. A., et al. (Eds.): *El agua y el clima*. Asociación Española de Climatología, Palma de Mallorca, 521-532.

RASO, J. M. (2002 b): Rapport entre les situations synoptiques et la mortalité en été à Barcelone. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 14, pp.437-444.

LES CARACTERISTIQUES THERMIQUES ET PLUVIOMETRIQUES DE LA DEPRESSION TARGU JIU-CAMPU MARE (ROUMANIE)

G. Rîsnoveanu¹ et I. Vaduva²

¹ Departamente de Ecologie, Université Bucaresti, Roumanie
e-mail : rgeta @bio.bio.unibuc.ro

² Faculté de Géographie, Université Spiru Haret, Bucaresti, Roumanie
e-mail : iulicaiancu@hotmail.com

Mots clés : variation né périodique, température, la Dépression Targu Jiu-Campu Mare

Abstract: Located in the south-eastern part of the country, the Targu-Jiu-Campu Mare depression is under the influence of the southern, south-eastern and western circulation. Air masses, in anticyclonic regime, having escalated the Banatului and the Mehedinti Mountains, gain foehn-like characteristics that causes an increase of the air temperature and the decrease of rainfalls.

Introduction

La Dépression Targu-Jiu-Campu Mare est caractérisée par un spécifique climatique bien défini pour la Roumanie, à cause des influences climatiques sous méditerranéennes et des conditions géographiques locales (la Carte topo climatique de l'RSR, 1977 et Atlas RSR, 1972-1979).

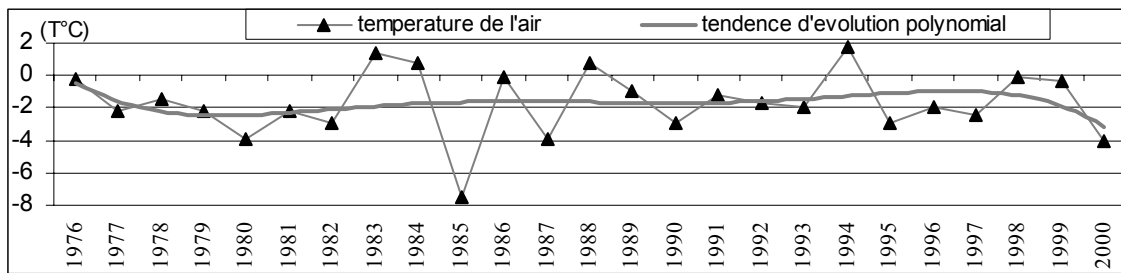
1. Méthodes

Les données enregistrées à la station Targu-Jiu, représentative pour le climat de cette dépression, ont été fournies par l'INMH et utilisées pour caractériser la dynamique de la température et des précipitations pendant les derniers 25 ans du vingtième siècle.

2. Résultats

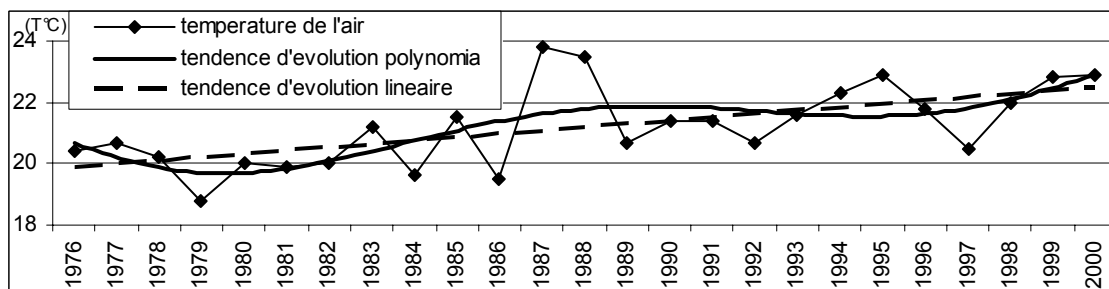
Dans la Dépression de Targu Jiu-Capu Mare, les caractéristiques de la température de l'air dépendent de la position physico géographique, à l'abri des Valcan, de l'exposition vers le sud, mais aussi des influences des masses d'air sousmediterraneennes. Cette dépression est située dans la région du climat tempéré continental, comme toute la Roumanie, où la variation multiannuelle de la température de l'air présente les caractères de ce climat, avec une température maximale en juillet (21,3°C) et minimale en janvier (-1,5°C). Pendant l'hiver, une masse d'air froide, caractéristique pour les inversions thermiques, couvre la Dépression Targu Jiu-Campu Mare, pendant que sur les plus hauts sommets des collines il y a une masse d'air chaud, au niveau des nuages inférieurs, qui dégage de la chaleur. Le mois de janvier le plus froid pendant l'intervalle analysé a été enregistré en 1985, quant la température de l'air est baissé jusqu'à -7,5 degrés. Analysant l'évolution de la température en janvier à Targu Jiu, on constate que les valeurs de ce paramètre ont une tendance de diminution pendant les derniers années analysées (fig. 1).

Fig. 1 : L'évolution de la température de l'air en janvier et la tendance d'évolution polynomiale



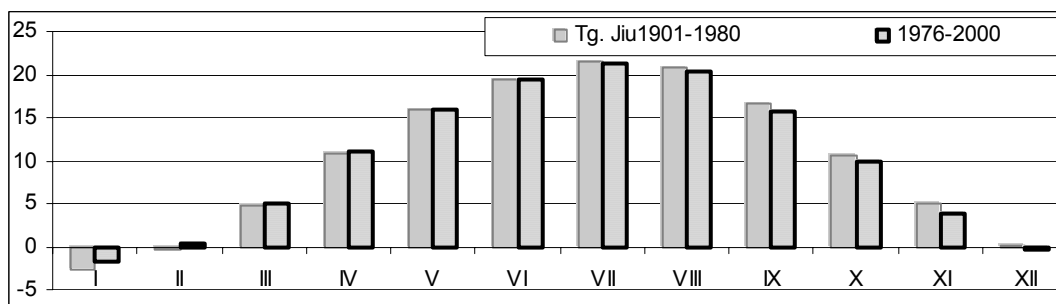
L'analyse de l'évolution de la température en juillet indique la tendance linéaire et aussi polynomiale qui augmentent (fig. 2). Le mois de juillet de l'année 2000 a été le plus chaud pendant cette année-là, à cause de l'Anticyclone nord-africain qui a transporté d'air chaud au-dessus de la Péninsule Balkanique et le territoire de la Roumanie. Conséquemment, le 4 juillet 2000, chez la station de Targu-Jiu on a enregistré des véritables records qui ont été aussi les records maxi absolus. Pendant le même jour, de telles températures ont été enregistrées dans toute la région sous carpatique de l'Olténie (40,6°C à Targu Jiu et Ramnicu-Valcea, 41,8°C chez Apa Neagra et 39,2°C chez Polovragi), (Vaduva, 2003 a).

Fig. 2 : L'évolution de la température de l'air en juillet et la tendance d'évolution linéaire et polynomiale



Si on compare les moyennes multi-annuelles de la température de l'air pendant la période de 1976-2000 avec celles de l'intervalle 1901-1980, on observe une augmentation de ces valeurs pendant l'hiver et une diminution pendant l'été pour la période 1976-2000 (Fig. 3). En été, la répartition de la température de l'air est beaucoup moins uniforme par rapport à l'hiver, à cause du caractère très hétérogène de la surface active pendant cette période.

Fig. 3 : L'évolution de la température de l'air



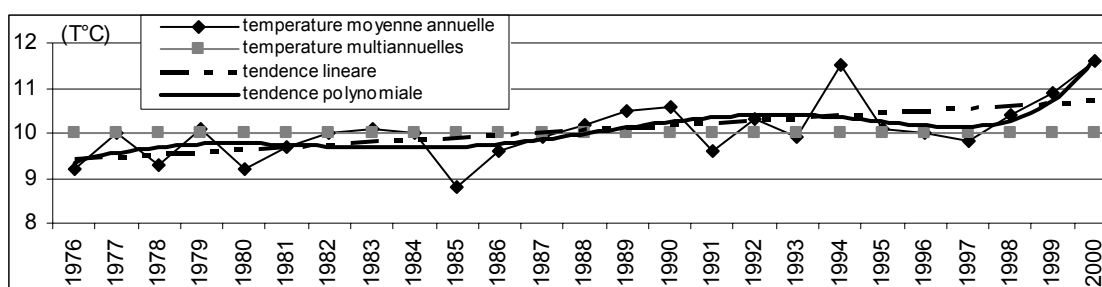
Les masses d'air en régime anticyclonique qui arrivent dans cette région perdent quelques unes de leurs caractéristiques initiales, ayant des températures plus élevées et des vitesses de déplacement plus réduites (Baranovski, Neamu, 1971).

Dans la variation annuelle de la température de l'air on observe bien des phases de refroidissement et de réchauffement (qui persistent des périodes plus longues). La plus élevée moyenne annuelle a été enregistré en 2000, c'est à dire 11,6 degrés, et la plus réduite en 1985, 8,8 degrés (fig. 4).

Le régime de la température de l'air en Roumanie, mais aussi dans la Dépression Targu Jiu-Campu Mare, présente un tendance générale d'augmentation, mais une augmentation plus modérée par rapport à d'autres régions de l'Europe (IPCC, 1996).

La corrélation de la dynamique des températures moyennes annuelles (qui augment) avec celles du mois de janvier (qui diminuent) et de juillet (qui augment) s'inscrit dans le tableau général des modifications climatiques locales et globales et relève le fait qu'il y a une période de réchauffement. (Vaduva, 2003 b). On observe que pendant les dernières deux décennies du XX^{ème} siècle, la tendance d'augmentation de la température de l'air est bien claire, et cette augmentation existe aussi à présent.

Fig. 4 : La variation né périodique et la tendance d'évolution linéaire et polynomiale de la température moyenne annuelle



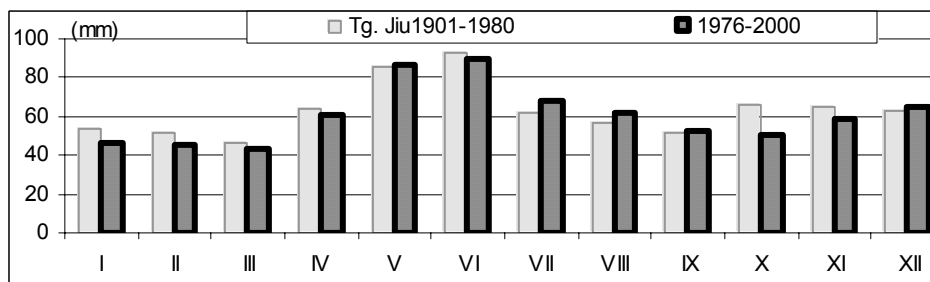
Les précipitations atmosphériques se distinguent par une grande variation en temps et espace, en liaison avec l'activité des masses d'air qui se trouvent au-dessus du territoire de notre pays, mais elles sont influencées aussi par les conditions physico géographiques locales, un rôle important ayant les Carpates (Geografia Romaniei, I, Geografia Fizica, 1983).

Les particularités physico géographiques locales (le relief orienté vers le sud, la végétation, le topo climat urbain etc.) sont les facteurs qui avec les caractéristiques des masses d'air provenant du sud, sud-ouest et ouest donnent le spécifiques du régime des précipitations atmosphériques de la Dépression Targu Jiu-Campu Mare. En escaladant les montagnes, les masses d'air gagnent des aspects de foehn, apportant des masses d'air plus chaud et plus sec dans les dépressions sous carpatiques.

Les quantités moyennes mensuelles des précipitations sont réparties différemment d'un mois à l'autre, en fonction de la direction et la fréquence des systèmes de pression, des masses d'air et des fronts atmosphériques, mais aussi du développement des processus locaux, qui conduisent à la formation ou diminution des précipitations atmosphériques.

L'analyse des données météorologiques indique un maximum annuel des précipitation en juin (89,6 mm) et un minimum annuel au mois de mars (42,9 mm) (Fig. 5).

Fig. 5 : L'évolution des quantités de précipitations

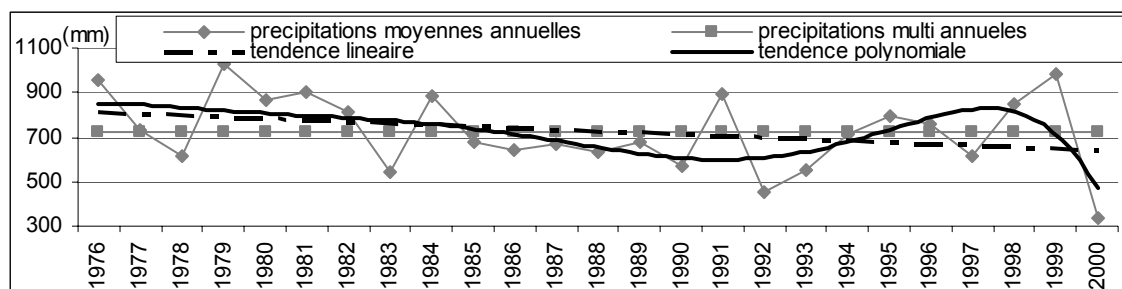


Si on compare les moyennes multi annuelles des précipitations atmosphériques pendant la période 1981-2000 (726,1 mm) avec celles de la période 1901-1980 (759,9 mm), on constate que les précipitations se sont diminuées pendant la période analysée. Par rapport à la période de référence (1901-1980), les quantités moyennes mensuelles des précipitations sont plus faibles; il y a aussi une augmentation vers la fin de l'été et le début d'automne (fig. 5).

La plus grande quantité des précipitations de l'intervalle analysé a été enregistrée en 1999 – 980,2 mm – et la plus petite en 2000 – 333,4 mm (fig. 6). De telles précipitations ont été enregistrées dans toute la région sous carpatique de l'Olténie (Polovragi 395,1 m, Apa Neagra 338,1 mm). Le fait que toutes les valeurs ont été enregistrées pendant la même année montre le caractère général du déficit d'humidité pour toute l'aire dépressionnaire du nord de l'Olténie en 2000. Octobre a été le mois le plus déficitaire en précipitations en 2000, quand chez les station Tg. Jiu et Apa Neagra on n'a pas enregistré de précipitations. Cette situation souligne encore une fois que l'année 2000 a été une des plus sèche années du vingtième siècle, tel comme elle a été considérée par quelques chercheurs (Vaduva, 2003 b).

Pendant l'intervalle analysé (1976-2000) on constate que la tendance d'évolution linéaire et aussi la polynomiale des précipitations atmosphériques diminue pendant les dernières années considérées.

Fig. 6 : La variation né périodiques et la tendance d'évolution linéaire et polynomiale des précipitations moyennes annuelles



Conclusions

1. Le régime de la température et des précipitations dans la Dépression Targu Jiu-Campu Mare présente des traits spécifiques pour le climat tempéré continental, avec certaines influences sous méditerranéennes.
2. L'année 2000 est marqué par des périodes de canicule assez prolongée (pendant le mois d'octobre, la quantité de précipitation a été de 0,0 mm).
3. La corrélation des certains facteurs physico géographiques locales et ceux d'ordre socio-économique, qui a comme conséquence l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère des gaz a effet de serre (CO₂, chlorofluorocarbones, N₂O) et aussi la prédominance dans la région des masses d'air chaud sont à l'origine de la tendance générale du réchauffement du climat.
4. Les quantités des précipitations déficitaires et en excès peuvent provoquer des dégâts importants pour la société.

Références bibliographiques

- BARANOVSKI, N., NEAMU, Gh. 1971: Judetul Gorj, Ed. Academiei R.S.R, Bucuresti
- VĂDUVA, I. 2003 a : The pluviometric characterisation, according to the standardized anomaly of precipitation during the last 25 years of the 20th century in the northern part of Oltenia, Analele Univ. Iasi
- VĂDUVA, I. 2003b: Caracteristicile climatice ale Podisului Dobrogei de Sud cu privire speciala asupra fenomenelor de uscaciune si seceta, Teza de doctorat, mss
- IPCC, 1996: Climate Change 1995. The science Change. Editors: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callender, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell. Cambridge University, Cambridge, UK

CYCLE DE L'EAU ATMOSPHERIQUE EN REGIONS TROPICALES : EXEMPLES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST ET DE L'AFRIQUE AUSTRALE

P. Roucou et N. Fauchereau

Centre de Recherches de Climatologie, FRE 2740 CNRS/Université de Bourgogne, Dijon

e-mail : pascal.roucou@u-bourgogne.fr

Résumé : L'étude consiste à évaluer quantitativement, pendant la saison des pluies en Afrique de l'ouest et australe, les différentes composantes du cycle de l'eau atmosphérique : C, Fin, Fout, Pa, \square respectivement la convergence des flux d'humidité, les flux entrants et sortants, la part des précipitations issues de la vapeur d'eau advectée par la circulation atmosphérique et le recyclage local des précipitations.

Mots-clés : Afrique tropicale, flux d'humidité, recyclage local des précipitations.

Abstract: The goal of our study is to quantify during the rainfall season in West and South Africa the terms of the atmospheric water cycle : C, Fin, Fout, Pa, \square which are respectively the humidity flux convergence, inflow, outflow, the part of precipitation derived from water vapor advected into the region by large-scale atmospheric circulation and the precipitation recycling ratio.

Key-words: Tropical Africa, humidity fluxes, precipitation recycling ratio.

Introduction

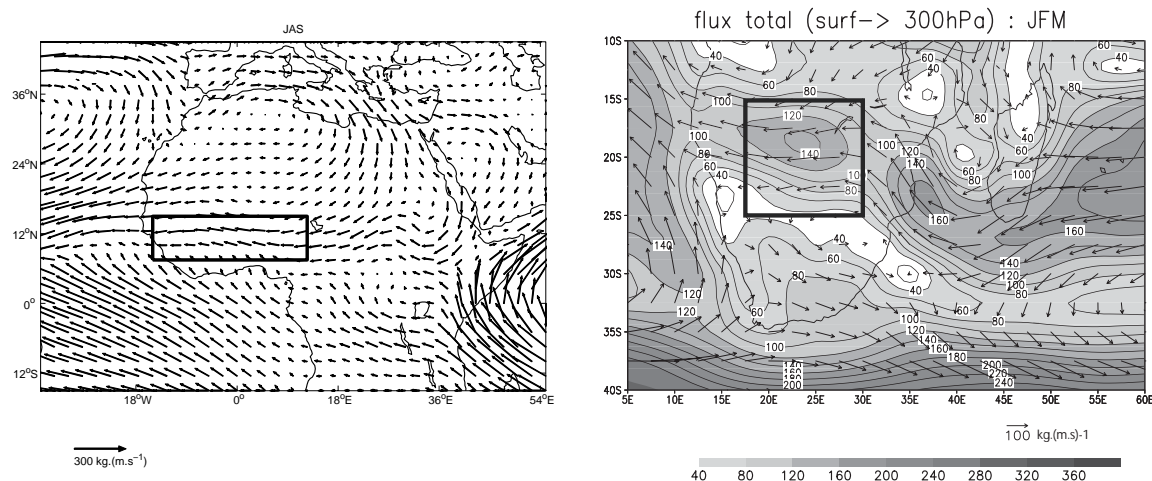
Les précipitations (P) sont le paramètre déterminant du climat aux latitudes tropicales. Ces dernières ne sont toutefois qu'une composante du cycle de l'eau. A l'échelle mensuelle ou saisonnière $P=C+E$ où C est la convergence des flux d'humidité et E l'évaporation. Pour un espace donné, C peut être évalué par la différence des flux de vapeur d'eau entrants moins les flux sortants de la région : $C=Fin-Fout$. Les précipitations s'abattant sur la région peuvent être décomposées en une partie advectée (Pa) et une partie d'origine interne provenant du recyclage local (b). Le taux de recyclage dépend des entrées/sorties de vapeur d'eau, de l'évaporation mais aussi de la taille de la zone d'étude (Brubaker et al., 1993 ; Trenberth, 1999). L'étude consiste à évaluer quantitativement, pendant la saison des pluies, les différentes composantes du cycle de l'eau atmosphérique (C, Fin, Fout, Pa, b) sur 2 régions tropicales aux contextes climatiques différents : l'Afrique de l'Ouest dont les précipitations sont associées à la mousson et l'Afrique australe, dont la pluviométrie dépend des systèmes synoptiques mixtes entre les latitudes tropicales et tempérées.

1. Données et méthodes

Les données de vent (v) et d'humidité spécifique (q) sont extraites des réanalyses atmosphériques NCEP / DOE AMIP II sur 7 niveaux pression de la surface à 300 hPa en quadri-horaire de 1979 à 2001 (Kalnay et al., 1996). Les flux aux bornes des boîtes sont obtenus comme suit : où . Le premier terme décrit le transport assuré par la circulation moyenne et le second par la circulation transitoire, c'est-à-dire les fluctuations à courte durée de vie de l'atmosphère (de l'échelle diurne à l'échelle synoptique) (Peixoto et Oort, 1992). E est calculée à partir des flux de chaleur latente (L) : $E=L/l$ où l est la chaleur latente de vaporisation. Après vérification le cycle annuel de P dans les réanalyses est très proche de celui de l'observation pour les 2 espaces considérés.

La figure 1 présente le transport d'humidité total moyen (en $\text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$) pour les 2 espaces, de juillet à septembre (JAS) pour l'Afrique de l'ouest et de janvier à mars (JFM) pour l'Afrique australe. Les aires pour lesquelles sont calculées les termes du bilan d'eau sont superposées. En Afrique de l'ouest, le transport d'humidité ne peut être réduit simplement à un transport méridien provenant du golfe de Guinée car il est surtout zonal. La méditerranéenne semble aussi être une source d'humidité qui alimente ce transport (Fontaine et al., 2003). En Afrique australe tropicale le transport est aussi zonal et la source principale de vapeur d'eau est l'océan Indien.

Fig. 1 : Flux d'humidité intégré verticalement de la surface à 300 hPa. Gauche) en JAS. Droite) en JFM. Les aires pour lesquelles sont calculées les termes du bilan d'eau en Afrique de l'ouest et australe sont superposées. Les superficies respectives sont $3.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ et $2.2 \times 10^6 \text{ km}^2$



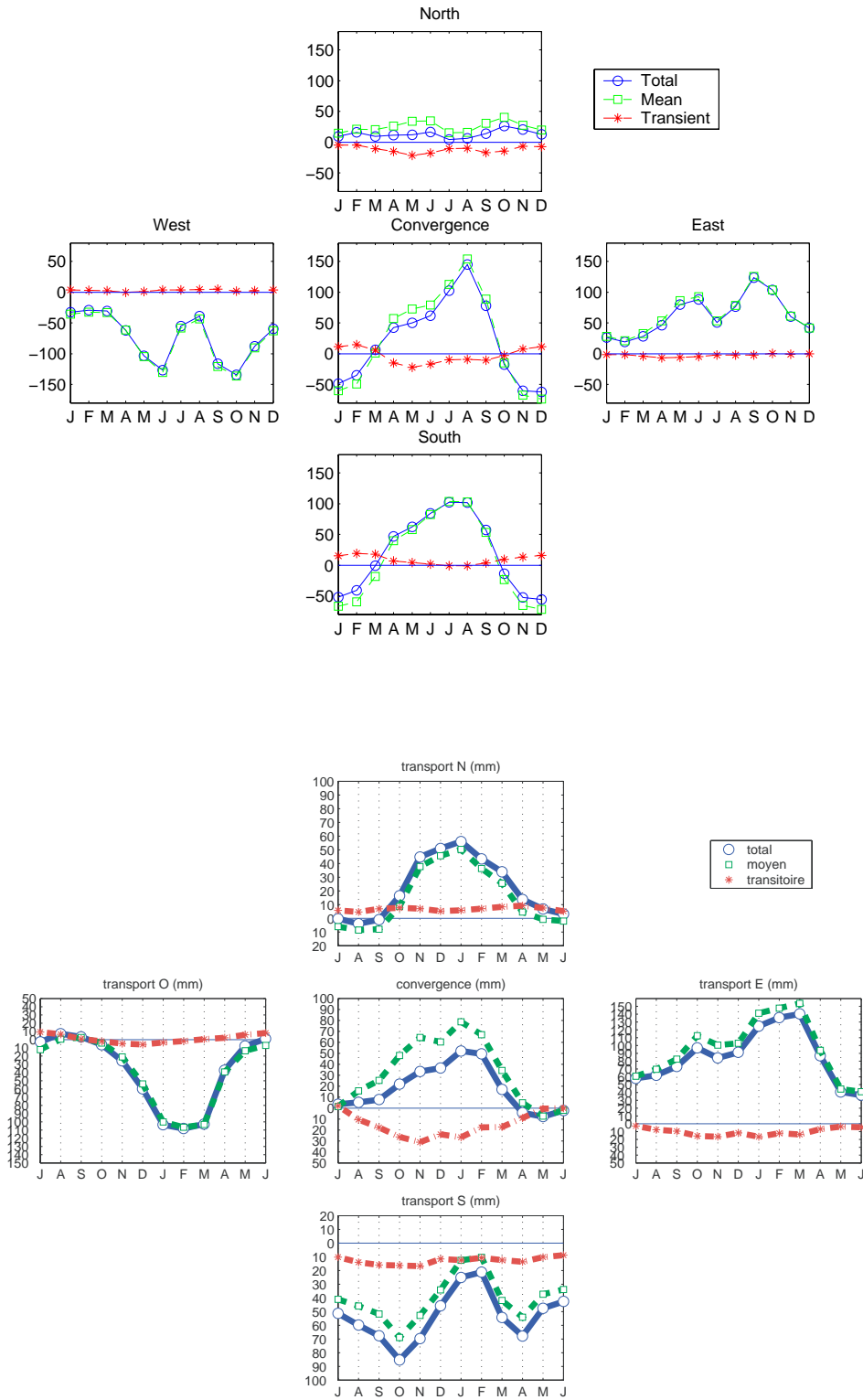
2 Résultats

2.1 Les bilans de l'eau atmosphérique

La figure 2 montre la convergence des flux et le transport au travers des bornes de chaque boîte. En Afrique de l'ouest, la circulation moyenne domine et l'influence de la circulation transitoire est minimale. La convergence d'humidité est à son maximum au mois d'août. Cela correspond au moment de l'année où les entrées de sud sont les plus élevées et que les sorties à l'ouest ont fortement diminuée. A cette saison environ 70% de la vapeur d'eau provient du sud. Entre juin et juillet la convergence montre un pallier cohérent avec le « saut de mousson » noté dans la pluviométrie (Le Barbé et al., 2002 ; Sultan et Janicot, 2000).

L'Afrique australe constitue un puits d'humidité tout au long de l'année, à l'exception de l'automne austral, où à l'issue des fortes précipitations de l'été, la région devient une source pour l'atmosphère. La vapeur d'eau est globalement importée par la circulation moyenne. Alors que les fluctuations haute-fréquence de l'atmosphère exportent de l'humidité (la circulation transitoire est divergente). La vapeur d'eau est originaire de l'est et du nord. Pendant le pic pluvieux (janvier-février) 73 % de la vapeur d'eau advectée provient de l'est et 27 % du nord. La source d'humidité principale est donc l'océan Indien sud.

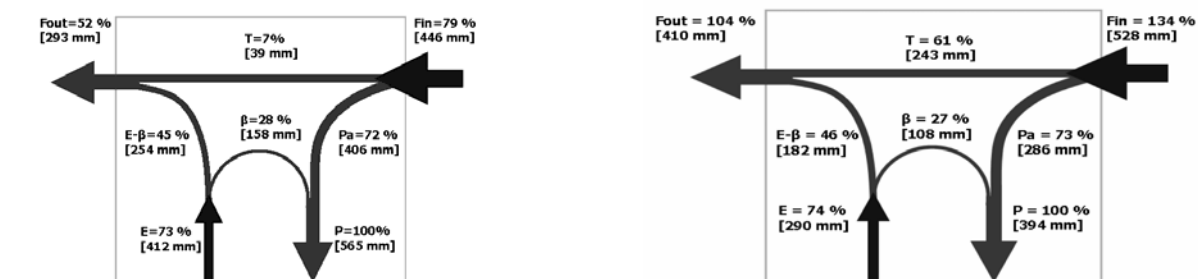
Fig.2 : Transport d'humidité total, moyen et transitoire aux bornes des boîtes et convergence (rapporté en mm mois^{-1}). Haut) Afrique de l'ouest. Bas) Afrique australe



2.2 Les composantes du cycle de l'eau

Les schémas de la figure 3 résument de façon synthétique le cycle de l'eau atmosphérique pour les deux régions. Les deux régions présentent un taux de recyclage très proche (respectivement 28% et 27%), en revanche la quantité de vapeur d'eau entrante dans le volume n'est pas utilisée avec la même efficacité. L'efficacité du cycle hydrologique peut être estimée par le rapport entre la quantité de vapeur d'eau entrante et la part alimentant les précipitations (P_a). En Afrique australe, ce rapport n'est que de 54% alors qu'en Afrique de l'ouest il est de 91%. Cela signifie que dans le premier cas une grande part de la vapeur d'eau (61%) transite au sein du volume contre 7% en Afrique de l'ouest.

Fig. 3 : Gauche) Composantes du cycle de l'eau en Afrique de l'ouest (JAS). Droite) En Afrique australe (JFM)
Les valeurs sont exprimées en mm et en pourcentage du cumul trimestriel des précipitations.



Conclusion

L'utilisation des réanalyses atmosphériques permet de pallier en partie l'absence de radiosondage. Les valeurs obtenues doivent cependant être considérées avec beaucoup de précautions car elles dépendent de la fermeture des bilans dans le modèle et de la fiabilité des valeurs en particulier celles de l'humidité atmosphérique. Néanmoins, elles permettent d'obtenir des ordres de grandeur qui améliorent la connaissance du cycle de l'eau atmosphérique.

Références bibliographiques

- Brubaker KL, Entekhabi D, Eagleson S (1993) : Estimation of continental precipitation recycling. J. Clim. 6: 1077-1089.
- Fontaine B, Roucou P, Trzaska S (2003) : Atmospheric water cycle and moisture fluxes in the West African monsoon: mean annual cycles and relationship using NCEP/NCAR reanalysis. Geophys. Res. Letters 30: 101029-101032.
- Kalnay E and Coauthors (1996) : The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. Bull. Amer. Meteor. Soc. 77: 437-471.
- Le Barbé L, Lebel T, Tapsoba D (2002) : Rainfall variability in West Africa during the year 1950-1990. J. Clim. 15: 187-202.
- Peixoto JP, Oort AH (1992) : Physics of Climate. American Institute of Physics.
- Sultan B, Janicot S (2000) : Abrupt shift of the ITCZ over West Africa and intra-seasonal variability. Geophys. Res. Letters 27: 3353-3356.
- Trenberth KE (1999) : Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation. J. Clim. 12: 1368-1381.

STRUCTURES SPATIALES DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES DE L'AFRIQUE EQUATORIALE ATLANTIQUE ET LEURS RELATIONS AVEC LES TEMPERATURES DE SURFACE OCEANIQUES DE L'ATLANTIQUE EQUATORIAL

G. Samba et G. Ibiassi Mahouhgou

Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Université Marien Nguabi
Brazzaville – Congo
e-mail : crth_umng@yahoo.fr

Résumé : Ce travail est une recherche des structures cohérentes de la variabilité pluviométrique en Afrique équatoriale atlantique et leurs possibles connexions avec les températures de surface océanique. Un réseau de 34 stations a été utilisé sur la période 1950-1993. A partir de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), huit modes pluviométriques cohérents ont été mis en évidence c'est-à-dire huit structures spatio-temporelles des précipitations. Pour la plupart leur évolution montre une baisse de la pluviométrie à l'échelle annuelle et saisonnière soit à partir des années fin 1960, soit au cours de la décennie 1970. En revanche, les températures de surface océanique (TSO) de l'Atlantique équatoriale, se caractérisent au cours de la période 1950 et 1993 par un réchauffement au nord et un refroidissement au sud. Les années 1950 montrent un refroidissement des TSO atlantique. De plus, ces années sont marquées par des anomalies positives au mois de mars, novembre et décembre. Les corrélations entre TSO atlantique équatoriale et la pluviométrie des différentes structures en Afrique équatoriale atlantique sur la période 1950 – 1993, montrent que : la pluviométrie annuelle du mode Congo - Gabon et du Nord Congo - Sud Cameroun est associée positive à l'indice atlantique équatorial. La pluviométrie saisonnière du mode Congo de mars – mai est associée à des corrélations positives des TSO atlantique Est, de même le mode sud Congo - Gabon de la saison SON est positivement corrélée avec les TSO de juin - août de l'atlantique.

Mots-clés : Afrique équatoriale atlantique, Structures pluviométriques, TSO.

Abstract: This study is an investigation about coherent structures of the rainfall variability in Equatorial Atlantic Africa and their possible connections with sea surface temperatures. A network of 34 stations has been used from 1950 to 1993. From the Hierarchical Classification Ascendant, eight coherent rainfall modes were found out i.e. eight spatio - temporal structures of précipitations. In truth, their progress shows a decrease of rainfall on annual and seasonal scales whether by the end of the sixties or during the 1970 decade. Therefore, the sea surface temperatures (SST) of Equatorial Atlantic are characterized by the warming in the north and the cooling in the south during the period of 1950 and 1993. The fifties show the cooling of the Atlantic SST. Moreover, these years are characterized by positive irregularities during March, November and December. The correlations between the Equatorial Atlantic SST and the rainfall of different structures in Equatorial Atlantic Africa in the course of 1950-1993 point out that the annual rainfall of the Congo-Gabon type and the North Congo-Cameroon is associated with positive indice to the Equatorial Atlantic. The seasonal rainfall of the Congo from March to may is associated to positive correlations of the east SST Atlantic even the south Congo-Gabon type of the SON season is positively correlated to the SST of June-August of the Atlantic.

Key-words: Equatorial Atlantic Africa, rainfall structures, SST.

Introduction

Depuis la décennie 80, de nombreux travaux ont concerné la variabilité climatique de l'Afrique de l'ouest (Nicholson, 198 ; Hulme, 1992 ; Janowiak, 1988, Moron, 1994), de l'Est (Beltrando, 1990 ; Camberlin et al., 1994; Ogallo, 1988, 1989), du sud (Richard, 1994) et peu de recherches sur l'Afrique équatoriale Atlantique (Bigot et al., 1997, Maloba Makanga et Samba, 1997).

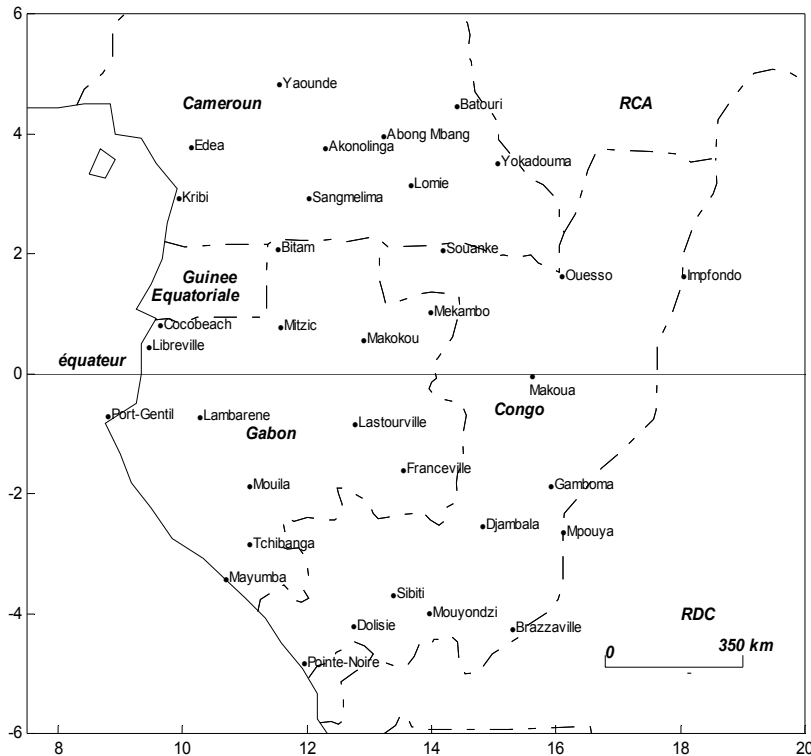


Fig. 1 : Afrique équatoriale Atlantique et les stations utilisées

De nombreuses études (Bernard, et al., 1998 ; Camberlin et al., 2001) mettent en relation l'évolution des SST et leur impact sur les précipitations d'Afrique Soudano-sahélienne ceci est bien perceptible depuis les années 1970 (Janicot et al, 1998). Le but de ce travail est de définir les structures spatiales des précipitations saisonnières de l'Afrique équatoriale atlantique (fig. 1) sur les mois les plus et de leur relation avec les SST-Atlantique de façon synchrone ou asynchrone.

1. Données et Méthodes

Les données pluviométriques utilisées dans ce travail sont extraites de la base de données développée par le Centre de Recherches sur les Tropiques Humides (CRTH) de l'Université Marien Ngouabi Brazzaville - Congo, sur la période 1951-1993. Après critique et vérification des séries pluviométriques, 34 stations sont retenues (figure 1). Les données des SST mensuelles utilisées sont issues du fichier UKMO en Point de grille ($5^{\circ} \times 5^{\circ}$) sur la période 1951-1993. Les valeurs dans chaque point de grille sont exprimées en anomalies aux douze moyennes mensuelles. Les principaux modes ont été déterminés à partir d'une Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.)

2. Les structures spatio-temporelles des précipitations

Les deux saisons des pluies mars-avril-mai et septembre-octobre-novembre apportent plus de 60% des précipitations annuelles. La saison mars-avril-mai (MAM) l'A.E.A. présente trois modes pluviométriques cohérents : mode Transéquatorial, mode Proche-Equatorial et mode Bas-Congo (fig. 2). Les trois modes présentent des excédents pluviométriques de 1950 jusqu'à 1960 ou 1990, suivi des déficits. La saison septembre octobre novembre (SON) fait apparaître le mode Méridional, le mode sud Congo-Gabon et le mode Sud-Camerounais (fig. 3), avec une évolution similaire des modes de la saison MAM.

Fig. 2 : Evolution interannuelle des modes pluviométriques saisonniers de MAM (1950-1993)

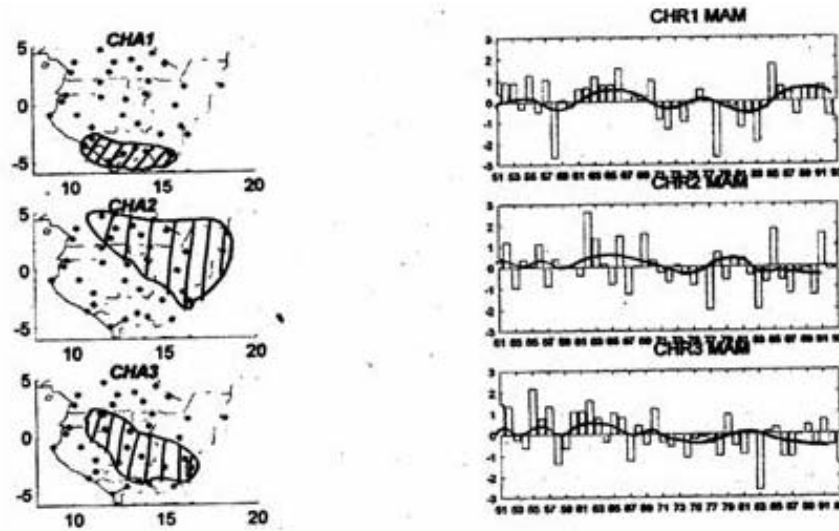
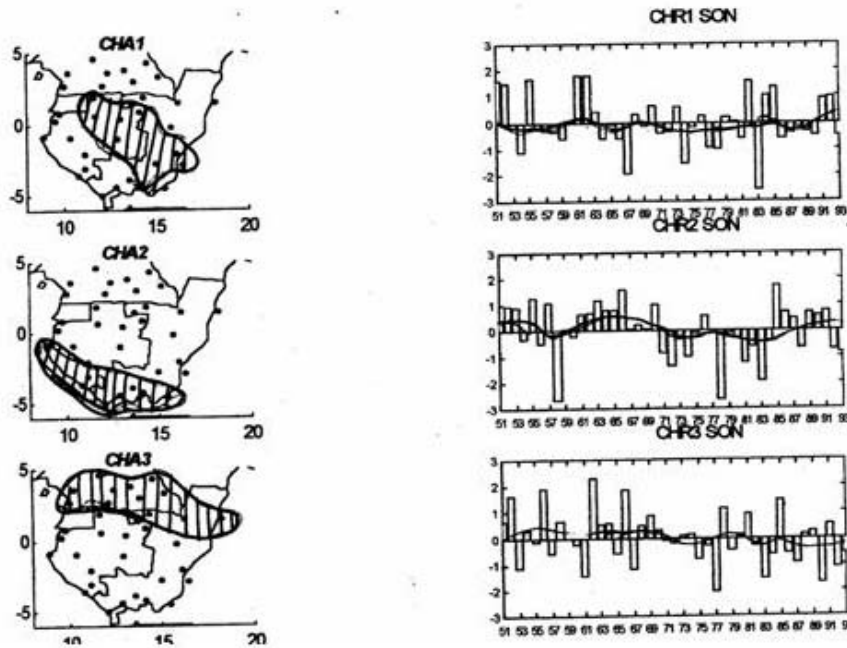


Fig 3 : Evolution interannuelle des modes pluviométriques saisonniers de SON (1950-1993)



3. Relations SST Atlantique-Précipitations

Les températures de l'atlantique entre 1951-1993, sont marquées par un refroidissement dans l'hémisphère sud et un réchauffement dans l'hémisphère nord. L'évolution interannuelle des précipitations de la première classe ou le mode Bas-Congo de la saison MAM est corrélée (> 0.28) avec l'atlantique équatorial (avec le seuil de 5%). La troisième composante est négativement corrélée avec l'Atlantique SW. Cette première saison des pluies, la baisse des précipitations semble être associée à la variation de températures de l'atlantique équatorial pour le premier mode et du SW atlantique pour le deuxième.

4. Discussion et Conclusion

La variabilité pluviométrique interannuelle de l'Afrique équatoriale atlantique s'effectue selon des structures spatiales complexes. La faible conservation des structures spatiales cohérentes d'une saison à l'autre peut s'expliquer par le fait que les phénomènes qui régissent les saisons humides, par exemple, sont essentiellement aléatoires, tant dans leur déroulement temporel que dans leur intensité. Les faibles corrélations entre les précipitations et les SST –atlantique évoquent une appartenance de l'AEA à un espace météorologique très complexe. Les précipitations, ici, n'étant pas que seulement tributaires des échanges Océan/Atmosphère/Continent. En AEA le bilan radiatif est excédentaire et le système thermoconvectif prédomine les mécanismes pluviogènes. En plus les perturbations d'est ou les ondes d'est jouent un rôle important.

Références bibliographiques

- BELTRANDO G., 1990: Space-time variability of rainfall in april and October-November over Africa during the period 1932-1983. *J. Climatol.*, 10, 691-702.
- BERNARD B., TRZASKA AND JANICOT S., 1998: Evolution of the relationship between near global and Atlantic SST modes and the rainy season in west Africa: Statistical analyses and sensitivity experiments. *Clim. Dynamics*, 14: 353-368.
- BIGOT S. CAMBERLIN P, ET MORON V., 1997: Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique : une transition climatique à la fin des années 1960 ? *C. R. Acad. Sci., Paris, Série IIa*, 324 : 181-188.
- CAMBERLIN P., RICHARD Y., ET BELTRANDO G., 1994 : Structures spatio-temporelles de la pluviométrie sur la façade orientale de l'Afrique, de l'Ethiopie au Mozambique.
- CAMBERLIN P., JANICOT S. AND POCCARD I., 2001: Seasonality and atmospheric dynamics of the teleconnection between African rainfall and tropical sea-surface temperature: Atlantic VS ENSO. *Int. J. Climatol.*, 21: 973-1005.
- HULME, 1992: Rainfall changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990, *Int. J. Climatol.*, 12, 685-699.
- JANICOT S., HARZALLAH A., FONTAINE B. AND MORON V., 1998: West Africa Monsoon dynamics and eastern equatorial Atlantic and Pacific SST anomalies (1970-1988), *J. Climate*, 11, 1874-1882.
- JANOWIAK J. E., 1988: An investigation of interannual rainfall variability in Africa. *J. Clim.* 1: 240-255.
- MALIBA MAKANGA J.D. ET SAMBA G., 1997 : Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1990). *Sécheresse*, n°1, vol. 8, 39-45.
- MORON V., 1994: Guinean and sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly time scales (1933-1990). *Int. J. Climatol.* 14: 325-341.
- NICHOLSON S. E., 1986: The nature of rainfall variability in Africa south of the equator. *J. Climatol.* 6: 515-530
- OGALLO L. J. 1988: Relationship between seasonal rainfall in East Africa and the Southern oscillation. *J. Climatol.*, 8, 31-43.
- OGALLO L. J. 1989: The spatial and temporal patterns of the East African seasonal rainfall derived from principal components analysis. *J. Climatol.*, 9, 145-167.
- RICHARD Y., 1994: Variabilité pluviométrique en Afrique du sud-est – Relation avec des mesures à la surface de l'océan Indien. *La Météorologie*, 8e série, 8, 11-22

LE CONFORT THERMIQUE SUR LE VERSANT SUD DES CARPATES MERIDIONALES (ROUMANIE)

E. Teodoreanu

Institut National de Récupération, Médecine Physique et Balneoclimatologie, Bucuresti, Roumanie

e-mail: gteo@pcnet.ro

Résumé : Cet article est une discussion sur la variation du nombre de jours de confort thermique sur le versant sud des Carpates Meridionales, en fonction de l'altitude et du mois de l'année. On met en considération le confort en conditions réelles (prise en compte du vent et de l'ombre) et en fonction de la radiation solaire.

Mots clés : Carpates Meridionales, confort thermique, versant sud, gradient vertical

Abstract: The paper deals with the variation of the number of days with thermal comfort on the southern slope of South Carpathians as a function of altitude and month of the year. We consider the thermal comfort in real conditions (with wind and shadow) and solar radiation.

Key-words: South Carpathians, thermal comfort, southern slope, vertical gradient

Introduction

L'organisme humain maintient constante la température du corps dans les processus du métabolisme en limites larges des conditions extérieures, par perte ou accumulation de chaleur, dans la relation avec le milieu environnant. Mais il y a une zone étroite où l'organisme humain, relativement bien portant, en repos, habillé légèrement, ne perd et ne reçoit pas de chaleur. Celle-ci est nommée zone de neutralité, indifférence ou confort thermique et est exprimée par degré de température effective équivalent °TEE ou °TEER, quand on met en considération la radiation solaire. On a établi pour Europe une limite moyenne approximative de 16,8 à 20,6 °TEE.

1. Caractéristiques du confort thermique

T°C	U %	V m/s	T°C	U%	Vm/s
22,0	58	0	24,0	100	2,5
23,0	40	0	25,0	38	1,0
23,0	60	0,5	25,0	51	1,5
24,0	37	0	25,0	63	2,0
24,0	56	1,0	25,0	84	3,0

Tab. 1 : Température de 20 °TEE, en diverses conditions de température, humidité, vent

Dans le rapport température – humidité, en général, quand l'humidité est grande, le confort baisse et est remplacé par inconfort par chaleur ou refroidissement, en fonction des valeurs de la température. Dans le rapport température – vent, si la température est élevée, le vent augmente le confort, mais si la température est réduite, la vitesse du vent baisse l'état de confort thermique. Par exemple, pour avoir une sensation de température effectivement ressentie de 200TEE on peut avoir des conditions météorologiques diverses.

2. Le potentiel de confort thermique

On a établi une relation empirique entre la température en °C et celles en °TEE/TEER sous la forme :

$$t^{\circ} \text{ TEE} \approx t^{\circ} \text{ C} - 6,4^{\circ} \text{ C} \quad \text{et}$$

$$t^{\circ} \text{ TEER} \approx t^{\circ} \text{ C} - 0,3^{\circ} \text{ C} \approx t^{\circ} \text{ TEE} + 6,1^{\circ} \text{ C} \quad (\text{Teodoreanu, 1995})$$

On a calculé les valeurs de confort thermique d'après la température maximale diurne $>23^{\circ}\text{C}$, qui correspond à une température équivalente de $16,6^{\circ}\text{TEE}$. On parle d'un potentiel de confort, parce qu'on a inclus ici le confort thermique, mais on a inclus aussi l'inconfort par chaleur, possible aux températures au-dessus de 27°C .

3. Variation du confort thermique annuel avec l'altitude

Les gradients verticaux des principaux paramètres météorologiques sont connus : la température de l'air baisse, en temps que l'humidité et la vitesse du vent augmentent avec l'altitude. Le confort thermique, comme une résultante des effets de la température, de l'humidité et du vent sur l'organisme humain, présente un gradient qui diminue en général avec l'altitude, variable en fonction des conditions géographiques locales et des caractéristiques du temps (insolation ou ombre, nébulosité, abri de vent).

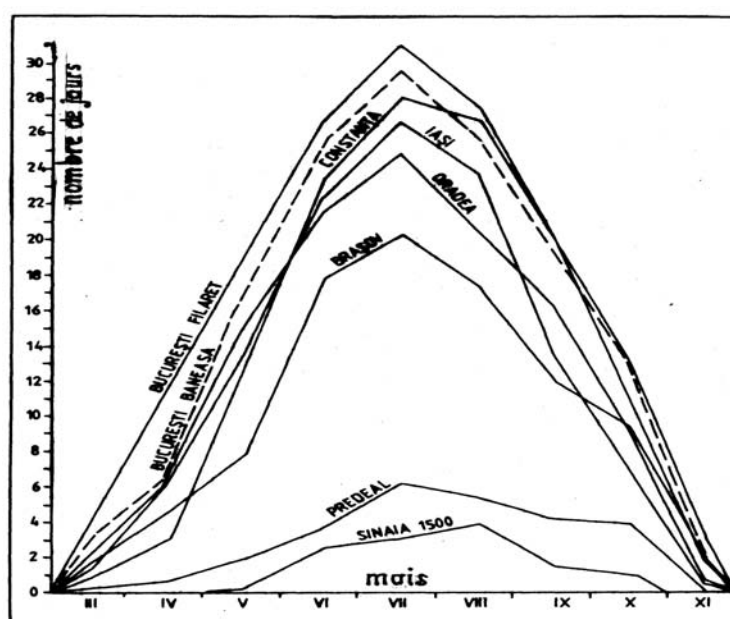


Fig. 1 : Le nombres de jours à confort thermique en conditions de radiation solaire

Le nombre moyen annuel de jours à confort thermique, en conditions météorologiques réelles de temps, baisse d'environ 120 jours par an dans la Plaine Roumaine, jusqu'à 0 jour à 1500 m altitude. Le nombre assez grand de jours à confort thermique dans la plaine s'explique par la présence des jours confortables, pendant le printemps et l'automne, en temps qu'en été ce nombre soit assez réduit, à cause de la croissance du nombre des jours inconfortables par chaleur. Dans les montagnes, le nombre de jours à

confort baisse à cause de la température plus basse à l'altitude, et de la croissance de la dynamique atmosphérique, c'est à dire, la croissance des nombres de jours à inconfort par refroidissement et vent. Si on prend en considération la radiation solaire, ou l'abri de vent, le nombre de jours à confort enregistré dans la plaine est de 130 – 140 jours par an, et dans les montagnes le confort parvient jusqu'à 1700 – 1800 m (fig. 1).

Donc, on peut dire que le gradient vertical du confort, en conditions réelles ou de radiation solaire est de $7,5 - 8$ jours/100 m.

4. Variation du confort en juillet à midi

Si on prend en considération le moment de réchauffement maximum de l'année et du jour, donc le mois de juillet, à midi, en conditions réelles de temps, on constate qu'en plaine on enregistre un nombre moyen de 10 jours par mois, pendant que dans les collines subcarpatiques et les petits monts (300 à 800-900 m altitude), ce nombre aboutit jusqu'à 12 jours par mois. A 1400 – 1500 m, le confort thermique est de 0.

Si on prend en considération la radiation solaire ou l'abri de vent, les données sont suivantes : 8 jours dans la plaine, 15 jours entre 500 et 1000 m, et jusqu'à 0 jour à 1800 m. Le nombre maximum de jours de confort à l'altitude moyenne est explicable par la température et l'humidité modérées et par des vitesses réduites du vent, ou par calme atmosphérique, en comparaison avec la plaine, ou prédomine l'inconfort par chaleur, et dans les montagnes, ou est plus fréquent l'inconfort par refroidissement et vent.

Le gradient vertical du confort en juillet, à midi est environ de +0,6 jours/100 m, au- dessous de 600 m et -1,5 jours/100 m au-dessus, en conditions de radiation atmosphérique (fig. 2).

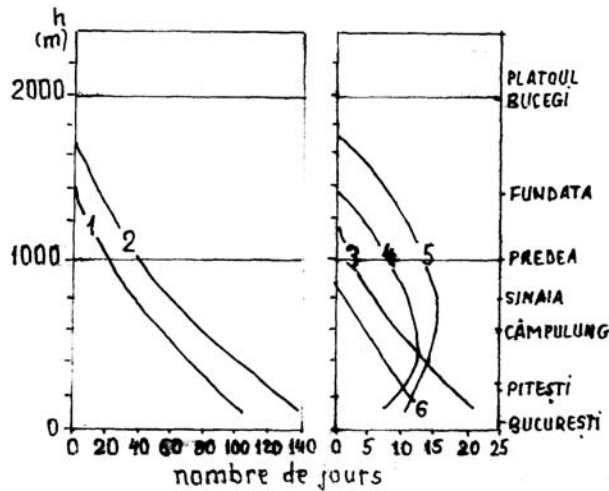


Fig. 2 Nombre moyen annuel de jours à confort thermique potentiel :

1 - en conditions réelles

2 - en conditions de radiation solaire

Nombre moyen mensuel de jours :

3 - à confort en conditions d'abri de vent, 4 - à inconfort par chaleur en conditions réelles,

5 - à inconfort par chaleur en conditions d'abri de vent,

6 - à confort par chaleur en conditions réelles

Conclusions

Le confort thermique est un indice bioclimatique variable en fonction de l'altitude et du moment astronomique de l'année. L'été est plus confortable dans la zone de collines et de petites montagnes, pendant que dans la plaine les saisons intermédiaires sont les plus agréables, au point de vue climatique.

Bien sûr, les conditions géographiques locales (par exemple la forme négative – dépression - ou positive du relief, l'exposition du versant envers l'insolation, la direction prédominante du vent, la couverture végétale etc.) peuvent modifier les valeurs de la température effective ressentie par l'organisme humain. Mais, en général, la caractéristique du confort thermique dans la zone respective se maintient, pendant la saison pris en considération. Cet indice est utilisé pour les indications touristiques et pour les cures naturelles ayant en vue l'aérophérapie et l'héliothérapie.

Références bibliographiques

BAIBAKOVA E.M., ILICEVA E.M., NEVRAEV B.,SVAREVA I.U.N., 1964 : metodika izucenia i shema opisania klimata kurortov, Tentr. Naucino-issledov.Inst. Kurort. i fizioterap. Moskva

BECANCENOT J.P., 1974, Premières données sur les stress bioclimatiques moyens en France, Annales de géographie., n.459, LXXXIII, sept.-oct.

KOZLOWSKA-SZCZESNA T., BLAZEJCZYK K., KRAWCZYK B., 1997 : Bioclimatologia czlowieka, PAN, Warszawa

MISSENARD A.,1937 : L'homme et le climat, Libr. Plon., Paris

SEIFERT G :1958 : Das Klima der DDR / dargestellt durch Effectiv – Temperaturen, Zeitschrift für Meteorologie, Bd.12 H 11/12

TEODOREANU E., 1995, Thermal confort in Romania as a function of solar radiation, Rev. Roum. de Geogr. 39

TEODOREANU E., 1997: Bioclimatul din Carpații Românești și efectele sale asupra organismului uman, Studii și cercet. de geogr., XLIV

TEODOREANU E., 2002: Bioclimatologie umană, Editura Academiei Române, București

TEODOREANU E., DACOS M., VOICULESCU C., ENACHE L., 1984 : Bioclima stațiunilor balneoclimatice din România, Editura Sport – Turism

TROMP S. W., 1974 : Progress in biometeorology, vol.1., Part I A, Swets et Zeitlinger BV, Amsterdam

LES QUANTITES MOYENNES MENSUELLES DES PRECIPITATIONS DANS LE PLATEAU DU DOBROUDJA DU SUD (ROUMANIE)

I. Vaduva

Faculté de Géographie, Université Spiru Haret, Bucharest, Roumanie

e-mail : iulicaiancu@hotmail.com

Résumé : A cause de la position du Plateau du Dobroudja du Sud dans le sud-est de la Roumanie, les influences des cyclones méditerranéens avec une évolution normale ou des perturbations méditerranéennes (cyclones avec un caractère rétrograde), des cyclones pontiques, mais aussi des anticyclones des Açores, est-européen, nord-africain etc. sont ressenties sur le territoire ; leur activité détermine des phénomènes de sécheresse et de temps sec, à cause des advections des masses d'air continental froid ou chaud et sec.

Mots clés : précipitations, l'indice pluviométrique Angot, le Plateau du Dobroudja du Sud

Introduction

Les précipitations atmosphériques sont un élément climatique caractérisé par la discontinuité et la grande variation dans le temps et dans l'espace. L'activité et les résultats du travail dans des domaines comme l'agriculture, les constructions, les transports, la balnéologie, le tourisme etc. dépendent de la quantité, l'intensité, la fréquence, la durée et la forme des précipitations. Les quantités moyennes mensuelles sont réparties différemment dans le Plateau du Dobroudja du Sud d'un mois à l'autre. Cette différenciation est déterminée par la fréquence et la direction de déplacement des systèmes barométriques, des masses d'air et des fronts atmosphériques, mais aussi par le degré de développement des processus climatiques locaux qui causent la formation ou la diminution des précipitations atmosphériques.

La structure de la surface active a un rôle déterminant dans la répartition du régime des précipitations et surtout le "barrage thermique" de la Mer Noire (Bâzac, 1983), conditionné par les processus d'évaporation qui conduisent à l'installation des inversions thermiques qui causent la descendance de l'air et, respectivement, l'effilochage des systèmes nuageux et l'absence ou la diminution des précipitations.

1. Méthodes

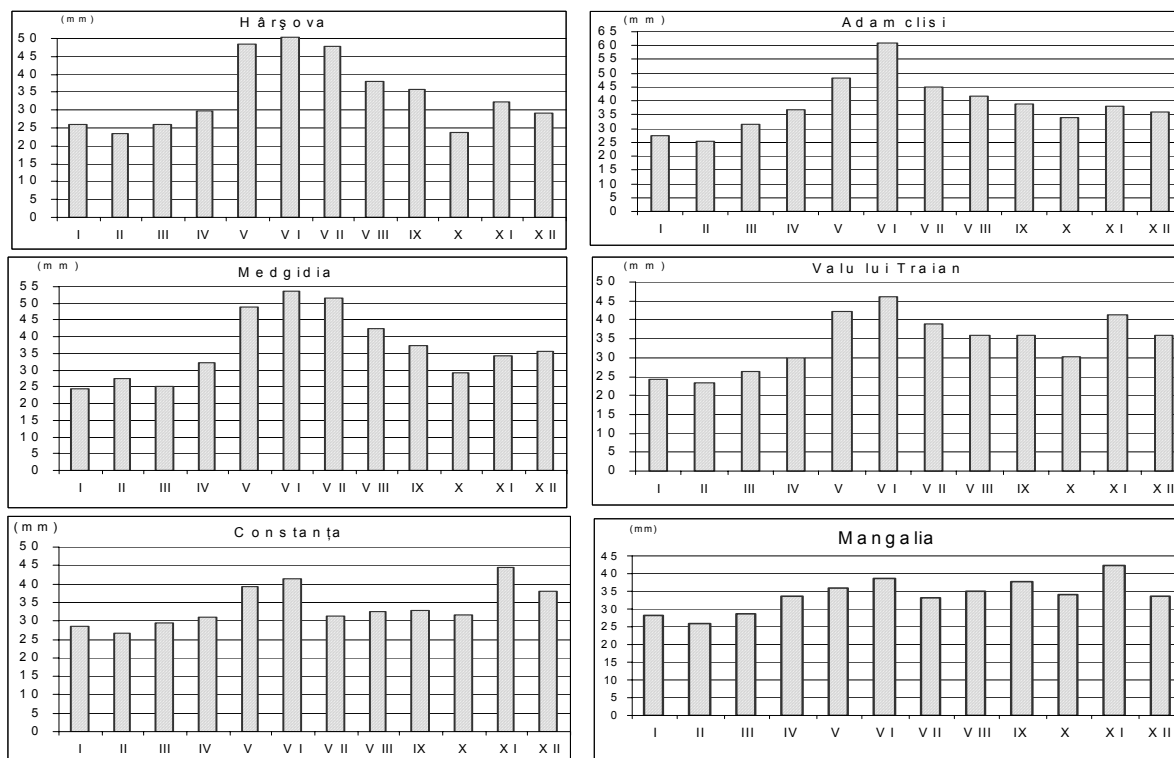
Les données enregistrées à six stations météorologiques (Constanta, Mangalia, Valul lui Traian, Medgidia, Adamclisi, Harsova) situées dans le Plateau du Dobroudja du Sud ont été fournies par l'INMH et utilisées pour caractériser les maximums et les minimums mensuels des précipitations pendant les quatre dernières décennies (1961-2000). Elles ont été lissées en utilisant les quantités moyennes multi annuelles mensuelles des précipitations et l'indice pluviométrique de Angot (qui tient compte de la quantité moyenne de précipitations pendant un mois, le numéro des jours de ce mois-la et la quantité annuelle moyenne des précipitations).

2. Résultats

Analysant les quantités mensuelles moyennes, on constate qu'à l'intérieur du Plateau (Adamclisi, Medgidia) il y a un maximum annuel principal au mois de juin (45-60 mm) et un autre, secondaire, en novembre (25-35 mm) ; pour les stations du littoral (Constanta, Mangalia), il y a un maximum

principal en novembre (40-45 mm) et un autre, secondaire, en Juin (38-40 mm), le minimum annuel est enregistré en février ou en janvier (20-25 mm) (tab. 1, fig. 1). Le deuxième maximum, secondaire et respectivement principal, du novembre est le résultat des influences subméditerranéennes et pontiques qui sont ressenties vers la fin de l'automne et le début de l'hiver, quand les processus de cyclogenèse sur la Mer Méditerranéenne et la Mer Noire s'intensifient (Vaduva, 2003).

Fig. 1 : La variation des quantités mensuelles moyennes des précipitations pendant l'année



Tab. 1 : Les quantités de précipitations moyennes mensuelles et annuelles

Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	An
Constanța	28.5	26.8	29.4	31.1	39.2	41.4	31.3	32.6	32.9	31.5	44.4	38.0	407.1
Mangalia	28.3	25.7	28.7	33.8	36.1	38.8	33.1	34.8	37.8	34.3	42.4	33.5	407.3
Valu lui Traian	24.3	23.4	26.4	30.0	42.3	46.2	38.8	35.8	35.8	30.1	41.4	36.0	410.5
Medgidia	24.6	27.4	25.0	32.3	48.7	53.8	51.5	42.3	37.4	29.3	34.4	35.6	442.3
Adamclisi	27.6	25.2	31.5	36.7	48.4	60.7	44.8	41.7	38.9	34.0	38.0	35.8	463.3
Hârșova	25.8	23.6	25.8	29.7	48.5	50.4	47.6	37.8	35.9	23.8	32.3	29.1	410.3

Février est le mois le plus sec du point de vue des moyennes mensuelles des précipitations (pour la plupart de l'aire étudiée). A Valu lui Traian, on a enregistré la plus petite moyenne mensuelle du mois de février avec 0,0 mm en 1990. Les moyennes mensuelles varient de 0,7 mm à 5,0 mm pour les stations situées dans la partie centrale du plateau et de 2,0 mm à 7,3 mm sur le littoral (fig. 2). Les moyennes multi annuelles des mois de février les plus secs sont plus faibles à l'est du plateau et un peu plus fortes dans la partie centrale à cause des influences pontiques, plus grandes sur le littoral, et un peu améliorées par les influences de la circulation méridiennes de sud en hiver.

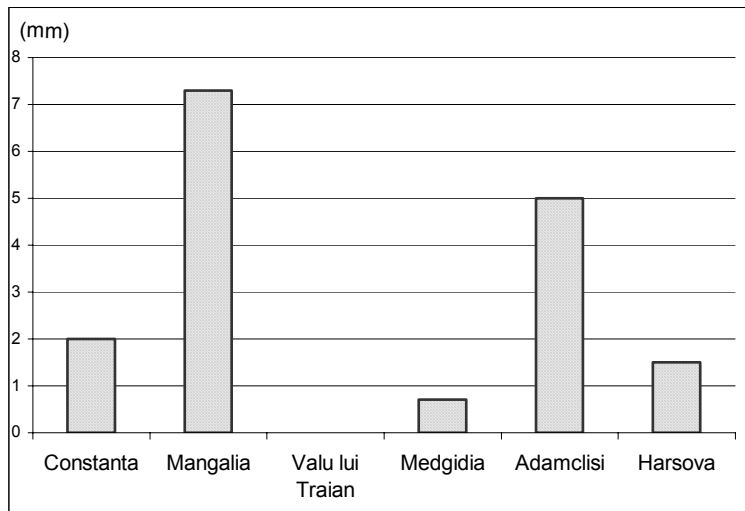


Fig. 2 : Le minimum annuel des précipitations pour les stations situées dans le Plateau du Dobroudja du Sud (février)

Au mois de juin, les moyennes mensuelles les plus faibles sont enregistrées dans l'est du plateau, sur le littoral, variant entre 38,8 mm à Mangalia et 41,4 mm à Constanta (tab. 1, fig. 1) à cause des influences pontiques plus prononcées à la différence de celles de la partie centrale, où elles sont plus importantes à cause des influences continentales. Pour les stations situées sur le littoral, le

maximum pluviométrique principal est enregistré en novembre, et le secondaire en juin, un aspect qui n'a pas été mentionné dans la littérature de spécialité jusqu'à présent.

La station de Adamclisi est caractérisée par les valeurs les plus fortes des quantités moyennes pour le mois de juin à cause de l'altitude plus importante. L'analyse des quantités moyennes mensuelles met en évidence l'intervalle avril-septembre, quand on a les plus grandes quantités de précipitations (la saison chaude), en comparaison avec l'intervalle octobre-février quand on enregistre les plus petites quantités mensuelles (la saison froide). Le mois de novembre est une exception – on y enregistre le deuxième maximum secondaire des précipitations pour les stations météorologiques du plateau (Harsova, Adamclisi, Medgidia, Valul lui Traian) et le maximum pluviométrique principal pour les stations situées sur le littoral (Mangalia, Constanta). En général, sur le territoire du Plateau du Dobrodja du Sud on enregistre des quantités plus grandes des précipitations pendant la saison chaude sur le plateau et pendant la saison froide sur le littoral. C'est à cause de la cyclogenèse pontique et méditerranéenne, plus active pendant les mois d'hiver.

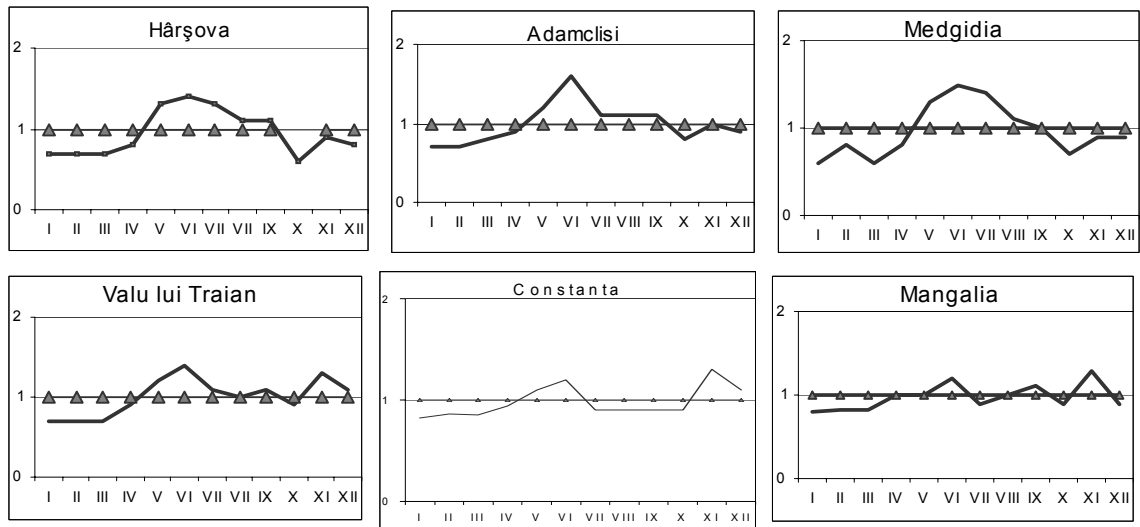
Pour meilleur reliaison le maximum et le minimum annuel, on a calculé l'indice pluviométrique Angot (K), qui exprime le rapport entre la quantité journalière moyenne des précipitations pendant un mois et la quantité qui y aurait été enregistrée si les quantités annuelles étaient réparties uniformément pendant tous les jours de l'année :

$$K = \frac{q \cdot 365}{Q \cdot n}$$

où : q = la quantité moyenne des précipitations pendant un mois;
 n = le numéro des jours de ce mois-là;
 Q = la quantité annuelle moyenne des précipitations.

En éliminant l'erreur causée par la durée inégale des mois, les calculs de l'indice pluviométrique de Angot (fig.3) indiquent que juin est le mois le plus pluvieux, qui se détache indubitablement du mois de mai. Janvier ou février-mars sont les mois les plus secs. Pour les stations de Constanta, Mangalia et Valul lui Traian, novembre est le mois le plus pluvieux. Le mois de mars, au début de la période de végétation, est caractérisé par des quantités moyennes réduites des précipitations sur le plateau et aussi sur le littoral : 28-29 mm sur le littoral, 25-31 mm sur le plateau. Au mois de juin, les précipitations sont beaucoup plus abondantes : plus de 45 mm sur le plateau, 38-42 mm sur le littoral et moins de 55 mm dans les marais du Danube (Harsova). Cependant, même pendant le mois du maximum pluviométrique, les précipitations ne sont pas suffisantes pour la période de végétation.

Fig. 3 : L'indice pluviométrique Angot



En le rapportant aux valeurs moyennes de l'indice pluviométrique Angot, le littoral de la Mer Noire est encadré dans le troisième type, avec la doublement des époques pluvieuses et sèches, la diminution des amplitudes annuelles. La première époque pluvieuse, pendant les mois de mai et juin, correspond à l'activité du front polaire et l'intensification de la convection thermique, et la deuxième, pendant les mois octobre-novembre est liée au développement des cyclones de la Mer Méditerranéenne. Les époques avec des précipitations déficitaires sont celles de la fin de l'hiver et du début du printemps, avec un minimum en mars, et aussi celles de la fin de l'été. Dans le Plateau du Dobroudja il y a le troisième type, mais avec un maximum secondaire (sub unitaire) de l'automne (Clima R.P.R., I, 1962).

Conclusions

1. Les quantités mensuelles des précipitations ont enregistré des valeurs très variées, ce qui indique leur grande variabilité non-périodique ; février est le mois le plus sec pour la plupart du plateau, puis janvier ; le mois le plus pluvieux est juin ; seules les stations Constanta et Mangalia sont une exception – les moyennes les plus grandes sont enregistrées en novembre, sous l'influence de la cyclogenèse pontique et méditerranéenne réactivée dans ce mois-là.
2. L'indice pluviométrique Angot indique que juin est le mois le plus pluvieux, qui se détache visiblement du mois de mai, et janvier ou février-mars sont les mois les plus secs. Pour les stations Constanta, Mangalia et Valul lui Traian, novembre est le mois le plus pluvieux.

Références bibliographiques

- BĂZĂC, GH. 1983: Influenta reliefului asupra principalelor caracteristici ale climei României, Edit. Academiei, Bucuresti, 179p.
- VADUVA I, 2003: Caracteristicile climatice ale Podisului Dobrogei de Sud cu privire speciala asupra fenomenelor de uscaciune si seceta, teza de doctorat, mss
- ***(1962), Clima RPR/RSR, I (283p)

IMPACT DES FLUCTUATIONS PLUVIOMETRIQUES SUR LES ECOULEMENTS DANS LE BASSIN BENINOIS DU FLEUVE NIGER (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

E. W. Vissin, C. S. Houssou, M. Boko et C. Houndenou

Laboratoire d'Étude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Écosystèmes
(LECREDE), Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

e-mail : exlaure@yahoo.fr

Résumé : La baisse pluviométrique concerne surtout les hauteurs mensuelles des mois de juin, juillet, août et septembre. Par ailleurs, le déficit pluviométrique est largement amplifié dans les écoulements et les recharges des rivières du bassin

Mots-clefs : bassin, pluviométrique, écoulement, déficit.

Abstrat: The rainfall relates to especially the monthly heights of July, June, August and September. In addition, the rainfall deficit is largely amplified in the flows of the rivers in the basin. it represents only the third approximately deficit of flow in each under-basin of the Niger river to the Benin.

Key Words: basin, rainfall, flow, deficit.

Introduction

L'étude de la péjoration pluviométrique et de son impact sur le cycle hydrologique, avec ses éventuelles manifestations extrêmes, constitue un enjeu important pour la communauté scientifique. Dans le bassin béninois du fleuve Niger au Bénin (fig. 1a), on note une baisse relativement brutale de la pluviométrie

Fig. 1a : localisation du domaine d'étude

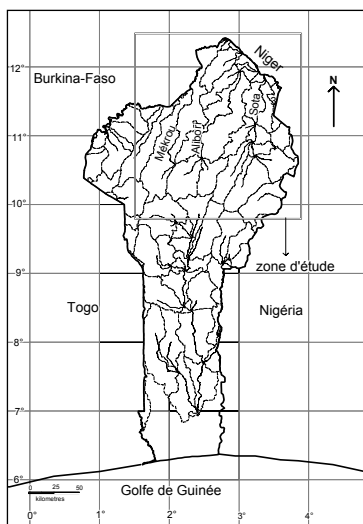
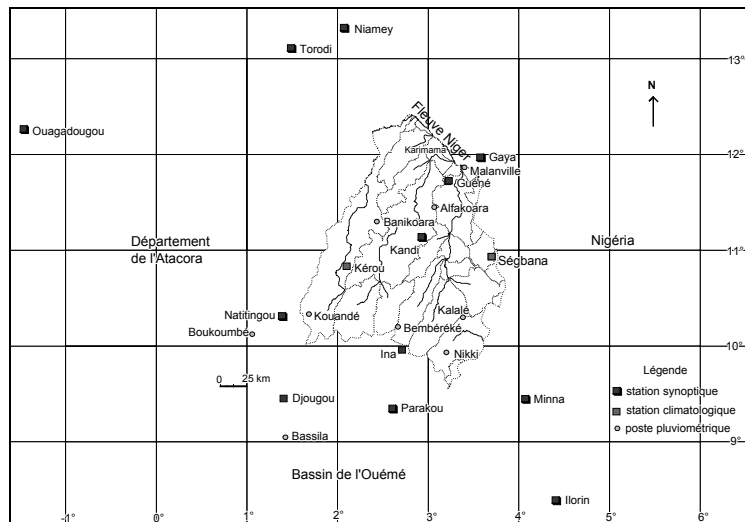


Fig. 1b : Réseau pluviométrique du bassin



(Boko et Adjovi, 1994 ; Houndenou et Hernandez, 1998) entraînant une diminution sensible des ressources en eau (VISSIN, 1998 et 2001). Ces ressources sont liées aux précipitations, et présentent une forte variabilité aussi bien dans leur abondance que dans leur répartition saisonnière et spatiale.

1. Méthodes

L'étude de la pluviométrie est effectuée à partir des données obtenues à la direction de la Météorologie Nationale du Bénin. Après la vérification de la qualité de celles-ci, elles ont été régionalisées à partir d'une interpolation linéaire. Cette méthode a permis d'estimer la pluviométrie mensuelle et annuelle au nœud d'une grille de 0°125 de côté couvrant l'ensemble du bassin. Vingt et une stations (fig. 1b) pluviométriques ont permis la réalisation de cette interpolation sur la période 1955-1992.

Les lames d'eau écoulées, étant des données spatiales, elle s'exprime par la formule suivante :

$$Léc_i = Lem_i + (Qmars_i - Qmars_{(i-1)}) \times Tar / S$$

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 (km²) ; $Qmars$ = débit de mois de mars (m³)

L'évaluation des déficits entre les 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. 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 pluviométrique et hydrométrique significative entre 1955-1972 et 1973-1992.

2. Résultats

2.1 Variabilité de la pluviométrie

La figure 2 indique des déficits pluviométriques marqués par une première phase aiguë dans les années 1973 et 1974 (Vissin, 2001 ET Vissin et al, 2002).

Fig. 2 : Evolution de la pluviométrie dans les sous-bassins hydrologiques

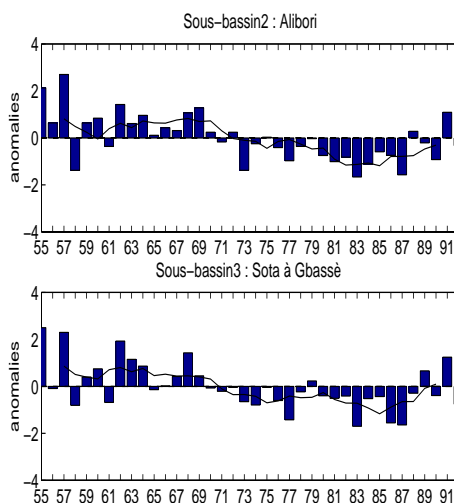
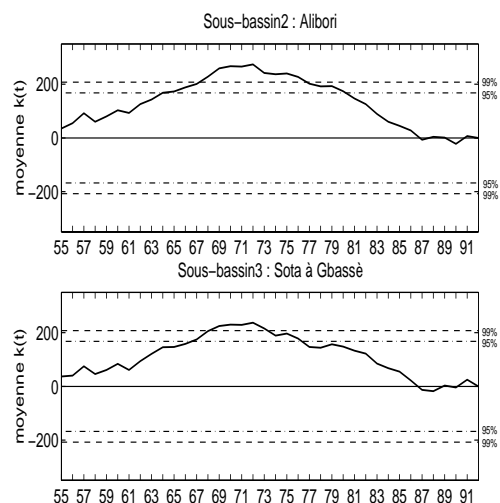


Fig. 3 : Mise en évidence de rupture de stationnarité par le test de Pettitt



Une recrudescence sensible de la sécheresse s'est manifestée en 1983 et 1987.

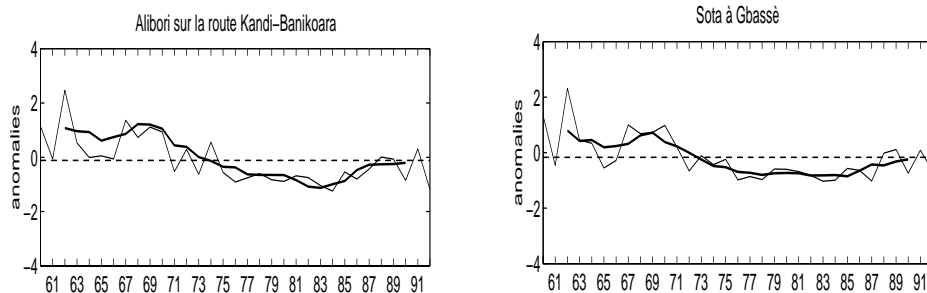
Les anomalies positives sont plus fréquemment observées avant 1972, avec certaines années (1957, 1962, 1969) marquées par un net excédent pluviométrique.

L'application du test de Pettitt (fig. 3) sur la série 1955-1992 des sous-bassins souligne clairement la présence d'un changement en 1972.

2.2 Evolution des écoulements dans le bassin

La figure 4 présente l'évolution interannuelle des débits moyens annuels de chacune des rivières. 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. Des années de grands déficits d'écoulements, 1976, 1983, 1984, 1987, sont observées. Dans tous les sous-bassins, les débits des deux dernières décennies sont en baisse.

Fig.4 : Variabilité interannuelle du débit dans le bassin béninois du fleuve Niger (1960-1992)



2.3 Impact des fluctuations pluviométriques sur l'écoulement du bassin

Les déficits pluviométriques enregistrés dans les sous-bassins de la Mékrou et de la Sota à Coubéri s'accompagnent de déficits d'écoulement entre les deux périodes respectivement de -51 % et -40 %, soit plus de trois fois le déficit pluviométrique observé. Dans les sous-bassins de l'Alibori et de la Sota à Gbassè, les déficits d'écoulement sont de -58 % et de -63 %, soit plus de quatre fois celui de la pluviométrie observé dans ces mêmes sous-bassins (tab. 1).

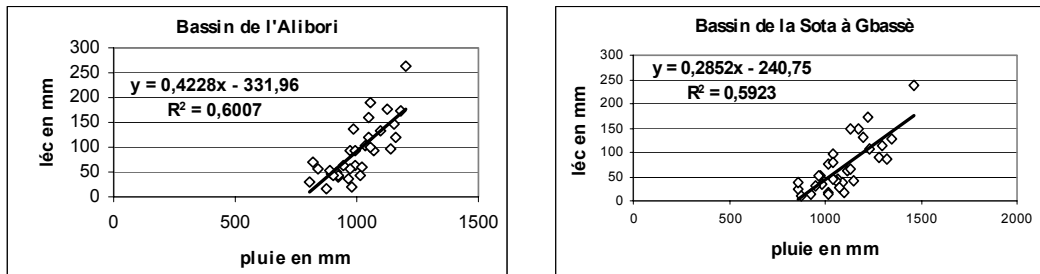
Tab. 1 : Identification de l'impact de la péjoration pluviométrique sur l'écoulement du bassin

Sous-bassins	Pluviométrie en mm					Ecoulement en mm				
	1960 1992	1960 1972	1973 1992	Ecart	Déficit (%)	1960 1992	1960 1972	1973 1992	Ecart	Déficit (%)
Mékrou	1047	1142***	985***	156	-14	96	139***	68***	71	-51
Alibori	1000	1086***	943***	143	-13	91	139***	59***	81	-58
Sota à Gbassè	1092	1181***	1034***	147	-12	70	114***	42***	72	-63
Sota à Coubéri	931	1003***	885***	115	-12	43	57***	34***	23	-40

*** seuil de signification à plus de 99 % du test de Student

Il en ressort des déficits pluviométriques de -10 à -20 % correspondant à des déficits d'écoulement compris entre -40 et -70 %. La corrélation Pluie/écoulement est significative (fig. 5) comme l'indiquent les valeurs du coefficient de détermination.

Fig. 5 : Corrélation Pluie/Ecoulement dans le bassin béninois du fleuve Niger



Conclusion

Sur l'ensemble de la série 1955-1992, deux périodes s'observent. Une période humide de 1955 à 1972 et une autre marquée par des sécheresses depuis 1973 jusqu'en 1992. Il ressort de cette étude, que les déficits pluviométriques des décennies 70 et 80 ont été largement amplifiés dans les écoulements de toutes les rivières du bassin béninois du fleuve Niger. Les déficits enregistrés sur les écoulements sont beaucoup plus forts que ceux des pluies, ce qui laisse croire à une diminution des aquifères et une baisse importante de leurs niveaux piézométriques.

Références bibliographiques

- BOKO M., ADJOVI L.C., 1994 : Recherche de tendances dans les séries pluviométriques du Bénin méridional : Implications agroclimatiques. In Publications De L'association Internationale de Climatologie. Volume 7. Thessaloniki. Pp 294-304.
- HOUNDENOU C., HERNANDEZ K., 1998 : Modification de la saison pluvieuse dans l'Atacora (1961-1990) : un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique de l'ouest). Science Et Changements Planétaires.
- VISSIN, E. W., 1998 : Contribution à l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin de la Sota. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UNB, Abomey-Calavi, Bénin ,123 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.
- 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.

**L'INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR L'HABITAT
DANS LES SUBCARPATES EXTERNES (ROUMANIE).
ÉTUDE DE CAS : LES SUBCARPATES DE IALOMIȚA**

T. Simion et O. Murărescu

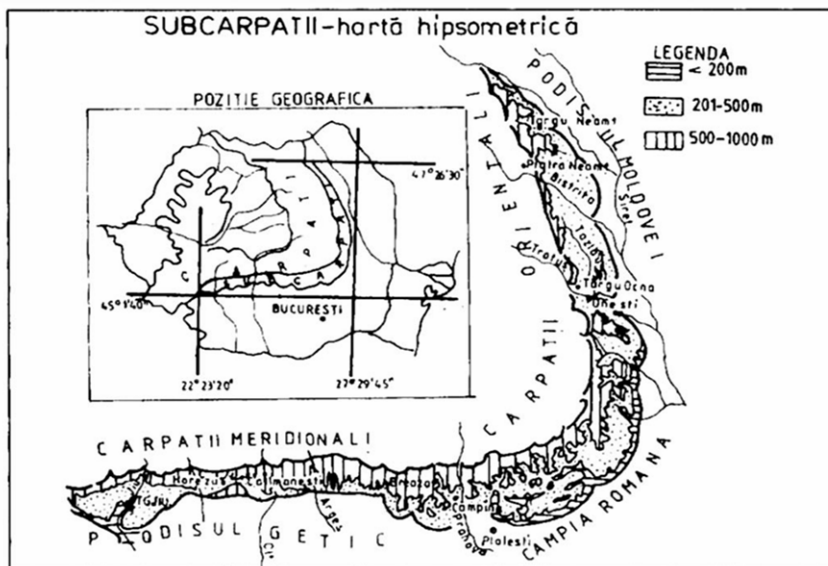
Université Valahia de Târgoviște
Faculté des Sciences Humaines - Rue Lt. Stancu Ion
nr.35-37, Targoviste, Dambovita
e-mail : ovidium@valahia.ro

Mots-clefs : Roumanie, Subcarpates externes, Subcarpates de Ialomita, habitat, facteurs climatiques

Introduction

Les Subcarpates externes se développent entre les vallées des rivières de Moldova et de Motru (fig.1). Le contact avec les Subcarpates est fait par des dépressions subcarpatiques allongées, situation où l'on distingue des écarts de niveau qui mesurent 300 m. Les massifs montagnards sont limités par des versants toujours bien boisés et par des vallées étroites qui s'ouvrent dans les dépressions réalisent des systèmes de terrasses bien développées. La limite externe est faite par le contact avec le Plateau de Moldavie, la Plaine Roumaine, le Plateau Getic et le Plateau de Mehedinți. Dans certains secteurs, grâce à l'évolution commune du Pliocène Supérieur – Quaternaire, la limite est discutable puisque les discontinuités hipsométriques ne sont pas mises en évidence.

Fig. 1 : Les Subcarpates – carte hipsométrique

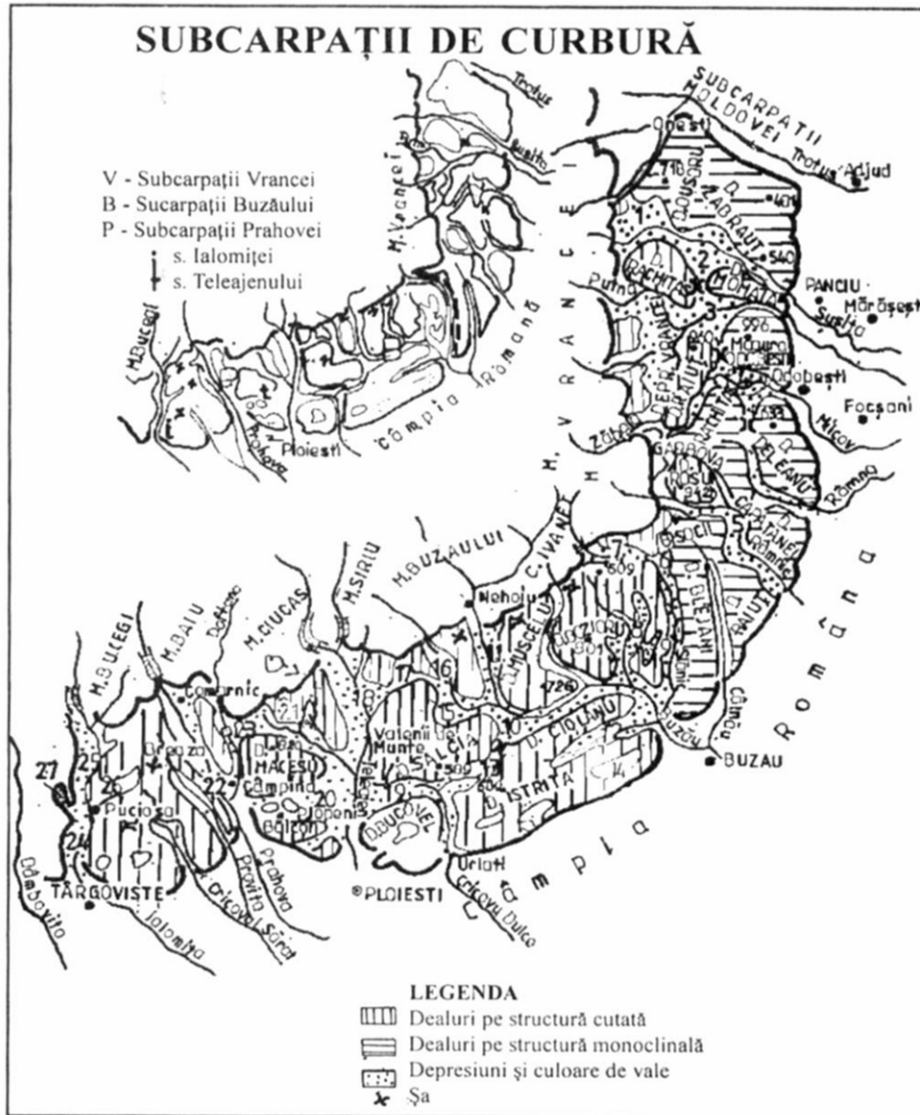


Légende :

Les unités et le type de collines et de plateaux :

- 1 : des plateaux structuraux
- 2 : des plateaux d'érosion
- 3 : des plateaux piemontains
- 4 : des collines
- 5 : limite par rapport à la grande unité de relief (d'après M. Ielencz & coll.).

Fig. 2 : Les Subcarpathes de Courbure



Légende :

- 1 : des collines avec structures pliées
- 2 : des collines avec structure mono-biais
- 3 : dépressions et couloirs de vallées
- 4 : selle

(d'après M. Ielencz & collaborateurs).

Les Subcarpathes de Ialomița font parties des Subcarpathes de Courbure, à côté de Vrancei, Buzăului, et de Prahovei. Celles-ci se développent entre les vallées des rivières de Prahova et de Dâmbovița.

1. Les conditions climatiques dans les Subcarpathes de Ialomița

Le régime climatique a un caractère tempéré – continental, avec des écarts régionaux déterminés par le développement du relief et par l'interférence des masses d'air du nord-ouest, d'est et de sud. La présence des massifs montagnards du nord favorise la formation du phénomène de foehn. Dans le même temps, l'ouverture large des vallées vers la plaine facilite l'entrée de l'air chaud du sud.

Analyse des températures

Ces conditions physiques ont mené à la réalisation d'un régime thermique modéré, avec des valeurs moyennes annuelles de 7 - 8°C aux pieds des montagnes et de 10 - 11°C au contact avec la plaine ; des températures de -3°C et -2°C en janvier et de 17 - 20 °C en juillet. Chaque année se produisent 20 ou 30 journées « tropicales » générées par les masses d'air chaud du sud, et 25 à 35 journées avec du gel pendant la saison froide (tab. 1, 2 ; fig. 3, 4).

Tab. 1 : Températures moyennes annuelles de l'air (1961-2000)

n°	Station météo	Mois de l'année												année	Amplitude annuelle
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
1.	Voinești - 511 m	-1,3	-0,5	3,4	8,8	14,0	17,4	19,7	19,3	14,5	9,5	4,3	0,0	9,1	20,6
2.	Câmpina - 461 m.	-1,5	-0,3	3,1	9,4	14,4	18,1	19,5	19,0	14,2	9,2	3,9	-0,2	9,0	21,0
3.	Târgoviște - 296 m	-1,2	1,2	4,3	10,4	14,4	19,7	19,8	18,5	14,0	10,1	4,5	0,2	9,6	21,0

Tab. 2 : Températures moyennes saisonnières de l'air (1961-2000)

n°	Station météo	Saisons			
		Printemps	Été	Automne	Hiver
1.	Voinești - 511 m	8,5	18,5	9,4	-1,1
2.	Câmpina - 461 m.	8,9	18,2	9,3	-0,9
3.	Târgoviște - 296 m.	9,7	19,3	9,5	-0,5

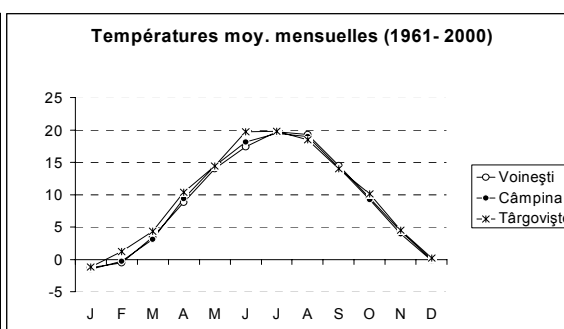
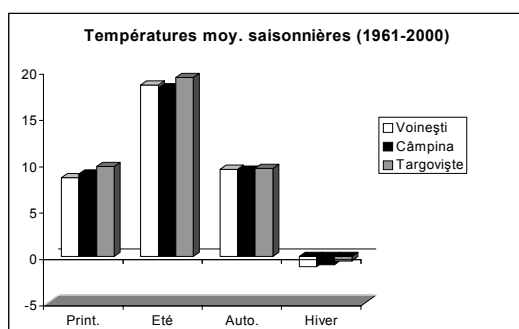


Fig. 3 : T° moyennes saisonnières (1961-2000)

Fig. 4 : T° moyennes mensuelles (1961-2000)

Analyse des précipitations

Les quantités de précipitations de 600 – 700 mm., ne sont pas réparties uniformément pendant une année, la plus grande quantité tombant dans l'intervalle avril-juin et en averse pendant la période juillet-août. (tab. 3, 4 ; fig. 5,6).

Tab. 3 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles (1961-2000)

n°	Station météo	Les mois de l'année												L'année	
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	Moy.
1.	Voinești	41,2	30,0	49,6	64,0	84,5	96,4	82,5	79,5	62,4	52,8	45,4	48,2	736,5	61,4
2.	Câmpina	40,1	33,7	38,0	61,1	86,9	112,7	93,7	87,1	55,9	45,2	45,3	49,2	748,9	62,4
3.	Târgoviște	34,4	33,5	34,1	53,7	69,2	94,0	81,6	65,7	35,1	33,5	42,4	40,7	617,9	51,5

Tab. 4 : Précipitations moyennes saisonnières de l'air (pourcentage de la quantité moyenne annuelle)

n°	Station météo	Saisons			
		Printemps	Été	Automne	Hiver
1.	Voinești - 511 m	26,9 %	35,0 %	21,9 %	16,2 %
2.	Câmpina - 461 m.	24,8 %	39,2 %	19,6 %	16,4 %
3.	Targoviște - 296 m.	19,6 %	39,0 %	23,7 %	17,6 %

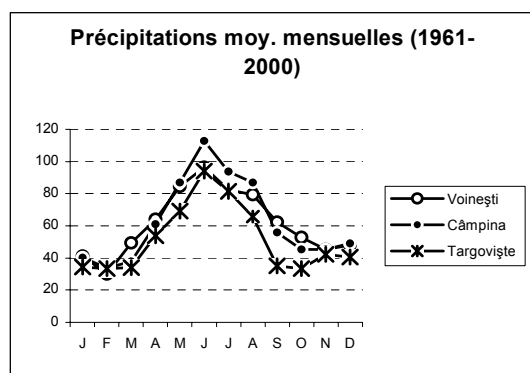


Fig. 5 : P moyennes mensuelles (1961-2000)

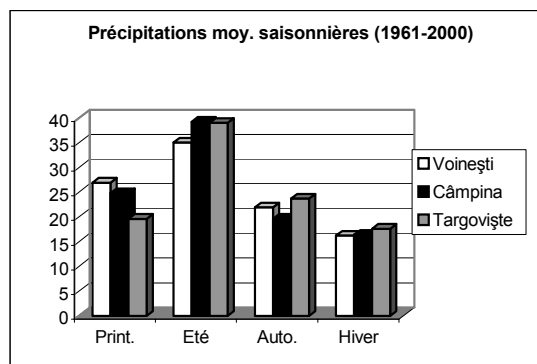


Fig. 6 : P moyennes saisonnières (1961-2000)

2. Conséquences sur l'habitat dans les Subcarpathes de Ialomița

Les effets de foehn se ressentent dans la saison chaude par des aspects de sécheresse et un grand nombre de beaux jours (sereins), ainsi que des hivers courts et doux. Face à ces conditions climatiques spécifiques, l'habitat humain caractéristique des Subcarpathes de Ialomița s'est adapté par la localisation des villages sur les couloirs de vallée (Moroieni, Pietroșița, Brănești, Bezdead, Voinești), sur des terrasses et plate-formes d'érosion (Sotânga, Voinești, Valea Lungă, etc.), où dans des petites dépressions de contact, des bassins d'érosion (Malu cu Flori, Vulcana Băi, Glodeni).

L'adaptation climatique s'observe dans le mode d'utilisation des terrains, par la prédominance des pâturages de colline, de quelques cultures agricoles spécifiques (la pomiculture, la culture de quelques plantes fourragères). Dans le même temps, on remarque la distribution particulière des fermes rurales, l'architecture caractéristique (l'organisation des toits, l'utilisation du bois pour la construction de ceux-ci), mais aussi dans la structure et la texture des villages des Subcarpathes de Ialomița.

Les agglomérations humaines prédominantes sont de type rural, elles occupent notamment les terrasses et les bassins dépressionnaires, alors que les villes - moins nombreuses - se trouvent sur la vallée de Ialomița (Pucioasa, Fieni) ou Prahova (Câmpina, Breaza). Le potentiel climatique est mis en valeur à côté des eaux gazeuses, iodées, soufrées depuis le début du XX^e siècle, par l'utilisation du topoclimat d'abri, fait qui a déterminé la création des stations balnéo-climatiques d'importance nationale (Pucioasa, Breaza, Câmpina), ou locale (Vulcana Băi, Bezdead, Glodeni).

Conclusion

Dans les Subcarpathes de Ialomița, l'influence des facteurs climatiques se ressent pratiquement sur la typologie de l'habitat humain, sur les activités économiques et sur la valorisation des ressources naturelles.

Références bibliographiques

- Bâzâc Gh., 1983 - Influența reliefului asupra principalelor caracteristici ale climei Românie ; Ed. Academiei R.S.R., București.
- Bogdan O., 1995 - Hazardele climatice și consecințele lor asupra mediului și societății ; Analele Universității din Oradea, Geografie, V.
- Bogdan O., Niculescu E., 1999 - Riscurile climatice din România ; Ed. SEGA Internațional, București.
- Gâștescu P., 1995 - Ecologia așezărilor umane și dezvoltarea durabilă ; in Revista mediului înconjurător, Vol VI, București.
- Gâștescu P., 2001 - Managementul mediului ; Ed. Sfinx 2000, Târgoviște.
- Ianoș I., 1994 - Riscul în sisteme geografice ; SC Geografie XLI, București.
- Ielenicz M., Pătru I., Ghincea M., 2003 - Subcarpații României ; Ed. Universității București.
- Loghin V., 1982 - Implicațiile degradărilor de teren asupra utilizării spațiului aferent Dealurilor Subcarpatice din bazinul Ialomiței ; BSSG, VI, București.
- Murărescu O. M., 2001 - Raportul dintre resursele de apă și cerințe de la nivelul comunelor de pe Valea Ialomiței (sectorul carpatic și subcarpatic) ; in Comunicări de geografie, Vol. V, Ed. Universității București.
- Niculescu Gh., 1971 - Considerații asupra zonei de interferență carpato-subcarpatice în Muntenia ; SCGGG, Geografie, tom 18, nr. 2 ; Ed. Academiei R.S.R., București.
- Păun C., 2001 - Clima județului Dâmbovița ; Ed. Oraj, Târgoviște.
- Pop P. Gr., 2000 - Carpații și Subcarpații României ; Ed. Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca.
- Roșu A., 1980 - Geografie fizică a României ; ed. a II-a, Ed. Didactică și Pedagogică, București.
14. Simion T., 1999 - Mic dicționar de toponimie dâmbovițeană ; Ed. Roza Vânturilor, București.
- Velcea Valeria, Savu A., 1982 - Geografia Carpaților și Subcarpaților românești ; Ed. Didactică și Pedagogică, București.
- Tufescu V., 1966 – Subcarpații ; Ed. Științifică, București.
- Velcea Valeria, Savu A., 192 - Atlasul climatologic al României ; I. M. București.
- Atlasul climatologic al României ; I.M. București.
- Geografia României ; vol.II, Geografie umană și economică, Ed. Academiei R.S.R., București.

TABLE DES MATIÈRES

XVII^e Colloque de l'A.I.C.
« *CLIMAT, MÉMOIRE DU TEMPS...* »

Sommaire	p. 001
Avant-Propos	
<i>O. Cantat, J.-O. Gires, E. Savouret et M.-A. Bühler</i>	p. 003
Météo-France et Université de Caen Basse-Normandie : un exemple de coopération scientifique	
<i>J.-O. Gires (Centre Départemental Météorologique du Calvados, Météo-France)</i>	p. 005
Introduction au XVII^e Colloque international de l'A.I.C.	
<i>O. Cantat (Géophen, UFR de Géographie, Université de Caen Basse-Normandie)</i>	p. 007
Logos des organisateurs et des partenaires	p. 011

THÈME 1

LA MESURE DU TEMPS ET DU CLIMAT

Évolution des sciences et des techniques
Critique et interprétation des sources

Réflexions sur l'influence des climats dans l'histoire des sociétés humaines	
<i>P. Acot</i>	p. 017
Compréhension, prévision et maîtrise du temps selon les textes d'Homère	
<i>J. Cuisenier</i>	p. 019
L'évolution de la climatologie pendant le dernier demi-siècle	
<i>A. Dougedroit</i>	p. 023
Approche probabiliste de l'évolution future d'un climat océanique à dégradation continentale	
<i>G. Drogue, P. Matgen, L. Hoffmann et L. Pfister</i>	p. 027
Analyse de la variabilité climatique interannuelle en région de paysage hétérogène (Bretagne) à partir de synthèses mensuelles NDVI à basse résolution	
<i>V. Dubreuil, R. Lecerf, L. et Hubert-Moy</i>	p. 031
Suivi spatio-temporel de l'état hydrique de la végétation dans le nord-ouest de la Tunisie par imagerie satellitaire	
<i>M. Feki, A. Dougedroit et V. Dubreuil</i>	p. 035
Élimination du clutter du sol par les réseaux de neurones	
<i>B. Haddad, N. Assous et L. Sadouki</i>	p. 039
Modèle de variabilité climatique indépendant de l'échelle temporelle	
<i>I. Haidu</i>	p. 043
Utilisation des données Météosat et de l'analyse statistique pour la gestion en réseau des données de rayonnement global	
<i>F. Huard</i>	p. 047

L'évolution de la climatologie à travers les Publications de l'AIC de 1989 à 2000 : analyse provisoire <i>A. Hufty</i>	p. 051
Réflexions sur trente années d'usage de la télédétection satellitale en climatologie <i>C. Kergomard</i>	p. 055
Changements climatiques, transformations des paysages et sources anciennes : l'exemple du témoignage de Théophraste à propos de la plaine de Philippes (Grèce) <i>L. Lespez et G. Tirologos</i>	p. 059
Régions sans mesures et estimations des paramètres <i>R. Morel</i>	p. 063
Relations entre précipitations et géopotentiels 500 hPa dans le bassin méditerranéen (1951-2000) : étude comparée des résultats de deux techniques <i>C. Norrant et A. Douguedroit</i>	p. 067
La saison des pluies d'octobre-décembre en Afrique de l'Est : prévisibilité à l'échelle du mois et du point de grille (1968-1998) <i>N. Philippon et P. Camberlin</i>	p. 071
Perception du temps et du climat en Cotentin au milieu du XVI^e siècle (exploitation du « Journal » de Gilles de Gouberville) <i>M. Roupsard</i>	p. 075
Estimation des précipitations à partir d'images satellitales <i>L. Sadouki, B. Haddad et A. Adane</i>	p. 079
Élaboration d'un indice pour la prévision du phénomène de cyclogenèse à proximité des côtes africaines <i>S. M. Sall et H. Sauvageot</i>	p. 083
Météorologie et Géostratégie : réflexions sur le rôle de la répartition spatiale des relevés météorologiques dans l'Opération Overlord - juin 1944 <i>E. Savouret et O. Cantat</i>	p. 087
Simulation des températures moyennes saisonnières maximales en Grèce par une approche de réseau de neurones artificiels <i>K. Tolika, P. Mahéras, M. Vafiadis et CHR. Anagnostopoulou</i>	p. 091
Mise au point d'un indicateur de stress hydrique par thermographie infrarouge (application à la pomme de terre) <i>A. Viau et S. O. Kotchi</i>	p. 095

THÈME 2

LE CLIMAT : SON ÉVOLUTION ET SES EXCÈS

Variabilité climatique
Changement climatique
Phénomènes extrêmes

Suivi spatio-temporel des températures de surface marine et de l'upwelling de la côte maroco-mauritanienne à l'aide de la télédétection <i>L. Amraoui et M. Leroux</i>	p. 101
Quantités exceptionnelles de précipitations dans les Subcarpates de la Moldavie <i>L. Apostol</i>	p. 105

Été 2003 : canicule historique en Aquitaine. Étude à partir des données des postes climatologiques d'Aire-sur-l'Adour (Landes, France) <i>F. Avila</i>	p. 109
L'« aridification du paysage » en Afrique de l'ouest à l'Holocène récent. Changement climatique et/ou action anthropique ? <i>A. Ballouche</i>	p. 113
Circulations méridiennes et extrêmes pluvio-thermiques en Tunisie <i>Z.Benzarti, H. Ben Boubaker et L.Henia</i>	p. 117
Approche de la variabilité climatique et de ses transitions dans les Alpes du sud <i>M. Berthelot et A. Génin</i>	p. 123
Le suivi des variations climatiques et écologiques en Afrique de l'Ouest : le rôle de la station géophysique et écologique de Lamto (Côte d'Ivoire) <i>S. Bigot, J. Oswald, T. Brou Yao, A. Diedhiou, A. Konaré, M. Fofana et P. Assamoi</i>	p. 127
Récession pluviométrique et mutations socio-économiques en Côte d'Ivoire <i>T. Brou Yao, F. Akindès, J. Oswald, S. Bigot et E. Servat</i>	p. 131
La diversité géographique de la canicule de l'été 2003 en Basse-Normandie : influence des facteurs géographiques et dynamiques sur la répartition d'un risque climatique <i>O. Cantat et E. Savouret</i>	p. 135
Caractérisation des événements pluvieux dits « à risque » dans l'agglomération lyonnaise <i>J. Comby et S. Rueneuve</i>	p. 139
Circulations méridiennes et pluies extrêmes sur la Tunisie : cas de l'automne et de l'hiver 2003-2004 <i>J. Elhajri</i>	p. 143
Évolution des périodes de sécheresse et d'aridité au sud des Alpes suisses durant le 20^e siècle <i>J.-M. Fallot et L. Bertini-Morini</i>	p. 149
Évolution de l'activité anticyclonique polaire hivernale et de la circulation aérologique de la basse troposphère dans le Pacifique Nord de 1950 à 2000 <i>A. Favre et A. Gershunov</i>	p. 153
Les « excès » météo-climatiques de l'année 2003 dans les grands massifs des Abruzzes Adriatique (Italie Centrale) <i>M. Fazzini</i>	p. 157
Les températures exceptionnelles de l'été 2003 enregistrées à l'observatoire Fabra (Barcelone) <i>L. Gomez, J.M. Raso, J. Martin-Vide, M^a.C. Moreno et M. Prohom</i>	p. 161
Variabilité des facteurs du risque climatique sur la culture du maïs au Bénin (Afrique de l'Ouest) <i>C. Houndenou, J. Pérard et M. Boko</i>	p. 165
Recherche de tendances dans les séries pluviométriques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest) <i>C. S. Houssou, C. Houndenou, E. W. Vissin, M. Boko et J. Pérard</i>	p. 171
Le projet INTERREG III : impacts des changements climatiques sur le comportement de la végétation dans le fossé rhénan <i>L. Jaeger, E. Parlow, P. Paul et H. Rennenberg</i>	p. 175
Épisodes climatiques marquants sur le Nord-Ouest de la France <i>J. Jan et F. Baraer</i>	p. 177
Contribution à la définition de l'excès d'origine climatique <i>F. Jubertie</i>	p. 181
Prévision et climatologie des phénomènes extrêmes. Vers une perspective historique <i>R.Juvanon du Vachat</i>	p. 185

Interactions tropicales / tempérées et pluviométrie au Mozambique <i>A. Manhique, Y. Richard, N. Fauchereau et P. Camberlin</i>	p. 189
Les risques climatiques extrêmes <i>J.-P. Marchand</i>	p. 193
Variabilité des précipitations saisonnières au Sénégal oriental et en Haute Casamance <i>J.-B. Ndong</i>	p. 197
Vagues de chaleur : l'événement d'août 2003 et les effets sur la santé <i>M. Nicoletta, L. Tedeci et E. Cadum</i>	p. 201
Mise en évidence d'un changement dans la variabilité pluviométrique au Bénin (Afrique de l'Ouest) <i>E. Ogourwale, I. Yabi et M. Boko</i>	p. 205
Réchauffement climatique global et expansion géographique de la dengue dans le sud du Brésil <i>E. V. Paula, F. Mendonça et M. M. F. Oliveira</i>	p. 209
La détection des changements climatiques en France <i>S. Planton</i>	p. 213
L'intensité de la dynamique aérologique et le creusement des dépressions profondes dans l'espace aérologique Nord Atlantique de 1950 à 2000 <i>A. Pommier et M. Leroux</i>	p. 217
Problèmes méthodologiques associés à la constitution d'une chronologie générale des coups de vent en France <i>M. Tabeaud et J. Buridant</i>	p. 221
Variabilité climatique et dynamique des milieux agraires sur les hautes terres de l'Ouest du Cameroun <i>M. Tsalefac</i>	p. 225
Changement de climat : modification dans le régime des précipitations en Belgique ? <i>M. Vandiepenbeeck</i>	p. 229
L'histoire de notre climat au cœur de la glace <i>F. Vimeux</i>	p. 233
Quelques particularités de la variabilité pluviométrique dans un climat de transition : cas du Département du Zou au Bénin (Afrique de l'Ouest) <i>I. Yabi, F. Afouda et M. Boko</i>	p. 237

THÈME 3

CLIMATS, SOCIÉTÉS, PAYSAGES...

Connaissance du climat

Les applications et les enjeux de la climatologie

Application de la climatologie urbaine : la carte des <i>climatopes</i> de Lisbonne comme préparation de cartes d'orientation pour l'aménagement <i>M. J. Alcoforado, H. Andrade, A. Lopes, J. Vasconcelos, R. Vieira</i>	p. 243
La spatialisation des températures mensuelles en Andalousie <i>J. Alvarez et M^a F. Pita</i>	p. 247

Impact possible d'un futur remblai routier sur l'aléa gel : le cas de RN 59 dans le vignoble alsacien de Châteinois <i>G. Beltrando, H. Quénol, S. Bridier et A. Sahal</i>	p. 251
La Dorsale pluviométrique sublittorale en Tunisie orientale : analyse topoclimatique en vue d'une meilleure connaissance des potentialités hydriques <i>H. Ben Boubaker</i>	p. 255
Recherche des tendances saisonnières des jours « skiabiles » dans les Alpes italiennes <i>A. Biancotti, M.Fazzini et S.Fratianni</i>	p. 261
Indices agro-météorologiques dans quelques vallées à grande qualité œnologique et sujettes à inversion thermique <i>C. Bisci, M. Fazzini et G. Pambianchi</i>	p. 265
Monitoring climatique d'un élément morphologique : « Il fungo » de Piana Crixia <i>G. Brancucci et G. Paliaga</i>	p. 269
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 <i>C. Chaix</i>	p. 273
Vents forts et submersions de tempête en Manche Orientale : analyse météo marine sur la période historique récente <i>S. Costa, O. Cantat, P.A. Pirazzoli, M Lemaître, D. Delahaye</i>	p. 277
Analyse rythmique des types de temps : une approche climatique à échelle temporelle fine <i>M. Danni-Oliveira et F. Mendonça</i>	p. 281
Le potentiel climato-touristique du littoral de la mer noire dans la saison d'été <i>C. Dragota et O. Gaceu</i>	p. 285
Possibilités de retour des conditions climatiques propices aux grandes crues de l'Isère à Grenoble <i>D. Dumas et T. Getny</i>	p. 289
Types de temps d'été pour la station de Capo Mele (Ligurie, Italie) pendant la période 1964-2003 <i>S. Fratianni et A. Biancotti</i>	p. 293
Les paramètres météorologiques dans les inventaires spatialisés d'émissions atmosphériques <i>E. Grondin, S. François et J.-L. Ponche</i>	p. 297
Les séquences des jours sans pluie en Tunisie <i>Z. Helaoui</i>	p. 301
Mobilité des littoraux et variabilité des vents de tempête et des houles dominantes au cours du dernier siècle en Bretagne <i>A. Hénaff</i>	p. 305
Le flux énergétique solaire et son impact sur la productivité de la vigne dans le vignoble de Minis-Madarat (Roumanie) <i>G. Mahara, F. Vanc et M. Duma</i>	p. 309
Étude de la pluviométrie dans le nord ouest algérien. Impact sur le rendement des céréales <i>M. Meddi, K. Ketrouti et A. Matari</i>	p. 313
La définition de paysages intra-urbains comme base pour l'étude du climat urbain : une proposition méthodologique <i>F. Mendonça</i>	p. 317
Structures spatio-temporelles des précipitations journalières au Congo Brazzaville (1950-1994) <i>M. Mpounza et H. B. Goma-Boumba</i>	p. 321
Bilan radiatif et bilan d'énergie dans un canyon urbain <i>G. Najjar, P.P. Kastendeuch, M.P. Stoll, J.R. Colin, F. Nerry, N. Ringenbach, J. Bernard, A. De Hatten, R. Luhahe et D. Viville</i>	p. 325

Quelques aspects concernant la répartition des précipitations abondantes, avec des conséquences catastrophiques, dans les Subcarpathes de Buzau (Roumanie) <i>G. Neamu</i>	p. 329
Évolution saisonnière des relations précipitations / relief en Afrique orientale <i>P. Oettli et P. Camberlin</i>	p. 333
Le rôle du climat dans la genèse et l'évolution des forêts dunaires françaises <i>Y. Petit-Berghem</i>	p. 337
Étude statistique des variations récentes de la pression atmosphérique et du vent sur les côtes atlantiques de la France et de l'Irlande <i>P.A. Pirazzoli</i>	p. 341
La mise en place du système d'information de climatologie du département d'environnement du Gouvernement Andalou <i>M^a F. Pita, J. M. Camarillo, M. Corzo et J. Alvarez</i>	p. 345
Modélisation de la brise de mer et étude des effets thermiques : quelques situations caractéristiques dans l'espace viticole du sud-ouest de la Province Occidentale du Cap (Afrique du Sud) <i>O. Planchon, V. Bonnardot et S. Cautenet</i>	p. 349
Reconstruction des champs du vent au sol par l'analyse de la déformation de la végétation <i>M.A. Pulina, G. Brancucci et G. Paliaga</i>	p. 353
Variabilité spatiale des microclimats dans le vignoble de Vinho Verde (région do Entre Douro e Minho, Portugal) <i>H. Quénot, G. Beltrando, A. Monteiro et A. Maciel</i>	p. 357
Pression atmosphérique et mortalité à Barcelone (1990-1997) <i>J. M. Raso, L. Gomez et M^a. C. Moreno</i>	p. 361
Les caractéristiques thermiques et pluviométriques de la dépression Târgu Jiu-Câmpu Mare (Roumanie) <i>G. Rîsnoveanu et I. Vaduva</i>	p. 365
Cycle de l'eau atmosphérique en régions tropicales : exemples de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique Australe <i>P. Roucou et N. Fauchereau</i>	p. 369
Structures spatiales des précipitations saisonnières de l'Afrique Équatoriale atlantique et leurs relations avec les températures de surface océaniques de l'Atlantique Équatorial <i>G. Samba et G. Ibiassi Mahouhgou</i>	p. 373
Le confort thermique sur le versant sud des Carpathes méridionales (Roumanie) <i>E. Teodoreanu</i>	p. 377
Les quantités moyennes mensuelles des précipitations dans le plateau du Dobroudja du sud (Roumanie) <i>I. Vaduva</i>	p. 381
Impact des fluctuations pluviométriques sur les écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest) <i>E. W. Vissin, C. S. Houssou, M. Boko et C. Houndenou</i>	p. 385
Tables des matières	p. 391
Tables des auteurs	p. 397

TABLE DES AUTEURS

XVII^e Colloque de l'A.I.C.

« *CLIMAT, MÉMOIRE DU TEMPS...* »

*(les numéros en gras indiquent les articles en tant que 1^{er} auteur,
et les parenthèses l'avant-propos et les articles d'introduction)*

Acot 15	Brancucci 269, 353	Fauchereau 189, 369
Adane 77	Bridier 251	Favre 153
Afouda 237	Brou Yao 127, 131	Fazzini 157
Akindès 131	Bühler (3)	Fazzini 261, 265
Alcoforado 243	Buridant 221	Feki 33
Alvarez 247, 345	Cadum 201	Fofana 127
Amraoui 101	Camarillo 345	François 297
Anagnostopoulou 91	Camberlin 69, 189, 333	Fратиanni 261, 293
Andrade 243	Cantat (3), (7), 87, 135, 277	Gaceu 285
Apostol 105	Cautenet 349	Génin 123
Assamoi 127	Chaix 273	Gershunov 153
Assous 37	Colin 325	Getny 289
Avila 109	Comby 139	Gires (3), (5)
Ballouche 113	Corzo 345	Goma-Boumba 321
Baraer 177	Costa 277	Gomez 161, 361
Beltrando 251, 357	Cuisenier 17	Grondin 297
Ben Boubaker 117	Danni-Oliveira 281	Haddad 37, 77
Ben Boubaker 255	Delahaye 277	Haidu 41
Benzarti 117	Diedhiou 127	Hatten (de) 325
Bernard 325	Douguedroit 21, 33, 65	Helaoui 301
Berthelot 123	Dragota 285	Hénaff 305
Bertini-Morini 149	Droge 25	Henia 117
Biancotti 261, 293	Dubreuil 29, 33	Hoffmann 25
Bigot 127, 131	Duma 309	Houndenou 165, 171, 385
Bisci 265	Dumas 289	Houssou 171, 385
Boko 165, 171, 205, 237, 385	Elhajri 143	Huard 45
Bonnardot 349	Fallot 149	Hubert-Moy 29

Hufty **49**
Ibiassi Mahouhgou **373**
Jaeger **175**
Jan **177**
Jubertie **181**
Juvanon du Vachat **185**
Kastendeuch **325**
Kergomard **53**
Ketrouti **313**
Konaré **127**
Kotchi **95**
Lecerf **29**
Lemaître **277**
Leroux **101, 217**
Lespez **57**
Lopes **243**
Luhahe **325**
Maciel **357**
Mahara **309**
Mahéras **91**
Manhique **189**
Marchand **193**
Martin-Vide **161**
Matari **313**
Matgen **25**
Meddi **313**
Mendonça **209, 281, 317**
Monteiro **357**
Morel **61**
Moreno **161, 361**
Mpounza **321**

Najjar **325**
Ndong **197**
Neamu **329**
Nerry **325**
Nicolella **201**
Norrant **65**
Oettli **333**
Ogouwale **205**
Oliveira **209**
Oswald **127, 131**
Paliaga **269, 353**
Pambianchi **265**
Parlow **175**
Paul **175**
Paula **209**
Pérard **165, 171**
Petit-Berghem **337**
Pfister **25**
Philippon **69**
Pirazzoli **277, 341**
Pita **247, 345**
Planchon **349**
Planton **213**
Pommier **217**
Ponche **297**
Prohom **161**
Pulina **353**
Quénol **251, 357**
Raso **161, 361**
Rennenberg **175**
Richard **189**

Ringenbach **325**
Rîsnoveanu **365**
Roucou **369**
Roupsard **73**
Rueneuve **139**
Sadouki **37, 77**
Sahal **251**
Sall **83**
Samba **373**
Sauvageot **83**
Savouret (3), **87, 135**
Servat **131**
Stoll **325**
Tabeaud **221**
Tedeci **201**
Teodoreanu **377**
Tirologos **57**
Tolika **91**
Tsalefac **225**
Vaduva **365, 381**
Vafiadis **91**
Vanc **309**
Vandiepenbeeck **229**
Vasconcelos **243**
Viau **95**
Vieira **243**
Vimeux **233**
Vissin **171, 385**
Viville **325**
Yabi **205**
Yabi **237**

* *
*