

RÉSOLUTION SPATIALE DES MNT ET QUALITÉ DE L'ESTIMATION DES TEMPÉRATURES ET DES PRÉCIPITATIONS EN FRANCE

JOLY D. ⁽¹⁾, CASTEL T. ⁽²⁾, POHL B. ⁽²⁾, RICHARD Y. ⁽²⁾

(1) Laboratoire THéMA, UFC/CNRS, UMR 6049 ; 32, rue mégevand, 25030 Besançon [daniel.joly@univ-fcomte.fr]

(2) Centre de recherches de Climatologie, UB/CNRS UMR6282, Biogéosciences, 6, Bd Gabriel, 21000 Dijon [benjamin.pohl / thierry.castel / Yves.richard@u-bourgogne.fr]

Résumé – L'analyse de la variation spatiale des normales de température et des cumuls de précipitation en France continentale est effectuée par des corrélations linéaires simples où la variable explicative est constituée par l'altitude calculée selon sept résolutions : 16, 8, 4, 2, 1 km et 500 et 250 m. Les coefficients de corrélation permettent d'évaluer l'intérêt de la haute résolution. Les températures sont optimalement expliquées par la résolution à 250 m, les résolutions plus grossières produisant des résultats de moindre qualité. Mais la résolution de 2 km est suffisante pour expliquer la variation spatiale des précipitations.

Mots-clés : Résolution spatiale, MNT, température, cumuls de précipitation, France, corrélations.

Abstract – *DTM spatial resolution and temperature and amount of rainfall estimation in France.* The spatial variation analysis of normal temperature and amount of rainfall in France is performed by simple linear correlations where elevation is the explanatory variable. The latter is provided in seven resolutions: 250, 500 m, 1, 2, 4, 8 and 16 km. The correlation coefficient is used to assess what is the resolution that works best. Temperatures are optimally explained by the 250 m resolution, the coarser resolutions producing lower quality results. The 2 km resolution best explains the spatial variation of rainfall.

Keywords : Spatial resolution, DTM, temperature, amount of rainfall, France, correlation.

Introduction

Dans de nombreux domaines de la recherche où des données spatiales sont mobilisées, la résolution des couches d'information joue un rôle fondamental dans la qualité des modélisations. Ainsi, la représentation du paysage au moyen de simulateurs de vue est-elle très approximative si elle ne se fonde que sur des données de l'occupation du sol à résolution grossière (50 m, 100 m). En revanche, si des données à haute ou très haute résolution sont utilisées, alors les paysages construits numériquement augmentent considérablement en réalisme (Joly *et al.*, 2009).

Ce problème intéresse également la climatologie et notamment l'estimation des températures et des précipitations grâce aux variables explicatives tirées des MNT (Joly & Brossard, 2007). Ces derniers pouvant se présenter à résolution grossière (1 km ou plus), à résolution moyenne (200 m à 1 km) ou fine (100 m ou moins), la question se pose de savoir laquelle choisir : y a-t-il une résolution spatiale qui permette l'estimation optimale des facteurs du climat ? Notamment pour estimer à quelle échelle s'opère les découplages locaux atmosphériques susceptibles de diminuer ou d'amplifier la variabilité climatique locale en contexte de changement (Daly *et al.* 2010). Spontanément, à l'instar de la représentation numérique du paysage, il est tentant de répondre que plus la résolution est fine, meilleurs les résultats seront. Mais ce point mérite d'être vérifié, ou infirmé : tel est l'objectif de cette étude.

Pour ce faire, nous avons construit un système de sept MNT à résolutions spatiales croissante (250 m, 500 m, 1 km, ..., 16 km) à partir du MNT à 250 m de la France délivré par l'IGN. Ensuite, les stations Météo-France où sont effectuées les mesures de température et de précipitations sont localisées sur chacun d'eux afin d'en connaître l'altitude. Enfin, des corrélations linéaires simples sont effectuées entre les températures et précipitations tour à tour considérées comme variable expliquée et les sept altitudes, variables explicatives. La variation du coefficient de corrélation d'une résolution à l'autre permettra d'identifier la résolution optimale.

1. Données et méthode

1.1. Données climatologiques

Les précipitations et les températures sont observées en respectivement 2031 et 651 stations bien réparties sur l'espace de la France continentale (fig. 1). Nous aurons ici recours aux normales mensuelles sur la période 1971-2000. Précisons que nous ne disposons que des seules températures moyennes, ce point a de l'importance au vu des résultats obtenus.

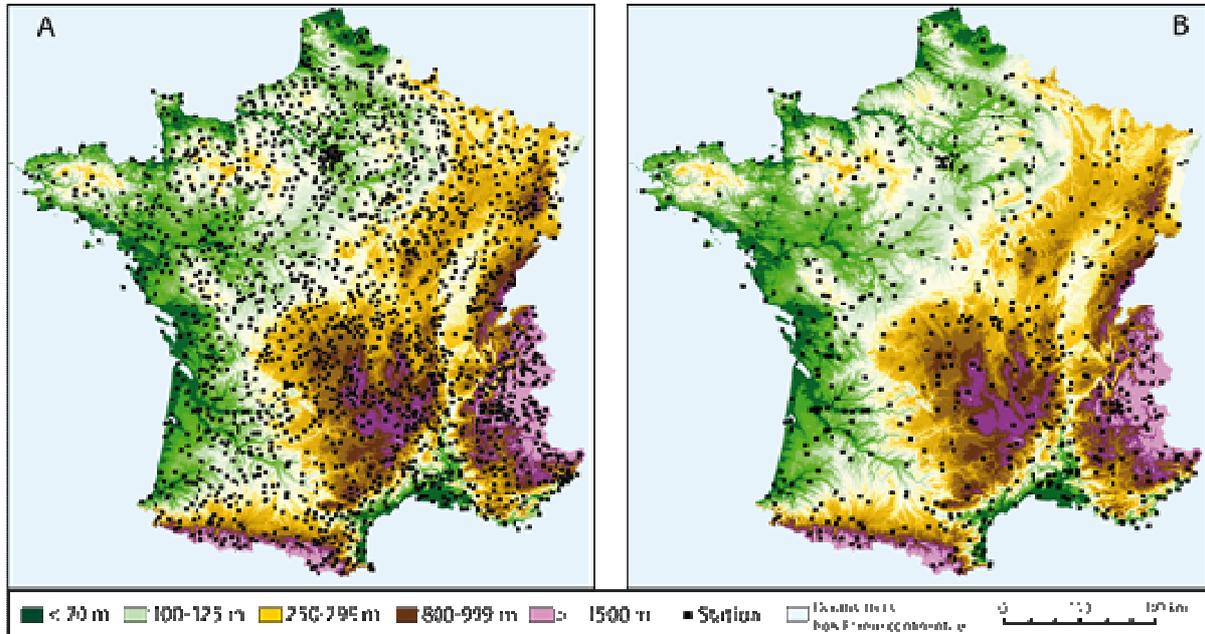


Figure 1. Localisation des 2031 stations pluviométriques (A) et des 651 stations température (B)

1.1.1. Les MNT

Les altitudes de la France sont d'abord décrites par le MNT à 250 m de résolution de l'IGN. Ensuite, par rééchantillonnages successifs, ce MNT est dupliqué aux six résolutions suivantes : 500 m, 1 km, 2 km, 4 km, 8 km et 16 km. Au total nous disposons de sept MNT.

La distribution des altitudes est très voisine d'une résolution à l'autre (tab. 1). Seule l'altitude maximale rencontrée sur chaque MNT diffère sensiblement : de 4721 m (90 m de moins que l'altitude du Mont Blanc) sur le MNT à 250 m de résolution, on passe à 3288 m sur celui à 16 km. L'augmentation de la résolution se traduit donc par une « érosion » du sommet le plus haut. Même si on ne peut pas le vérifier, il est loisible de supposer que cette dégradation, perçue grâce à l'altitude française la plus élevée, touche également l'ensemble des pixels qui jalonnent les crêtes topographiques. Un effet analogue, mais de sens opposé touche vraisemblablement les pixels qui suivent les vallées encaissées dont les altitudes sont progressivement surélevées en liaison avec l'augmentation de la résolution. On aboutit ainsi à un émoussement des reliefs convexes et concaves les plus aigus.

Tableau 1. Distribution (%) des altitudes à l'intérieur de six classes d'altitudes et pour quatre résolutions ; altitude maximale pour chacun des quatre MNT

	30	100	500	1000	3000	> 3000 m	maxi (m)
250 m	8	18	55	11	5.5	1.54	4721
1 km	8	18	55	12	5.5	1.55	4511
4 km	7	18	55	11	5.62	1.59	3844
16 km	6	17	55	12	5.89	1.65	3288

Il faut préciser qu'il y a toujours des écarts entre les altitudes relevées aux stations météo par GPS et les altitudes lues sur les MNT. Ces écarts sont d'ordinaire d'autant plus importants que la résolution est grossière (Joly, 2007) et que la station est située sur une pente forte.

1.1.2. Méthode

Les régressions pour les températures moyennes et les précipitations sont des modèles linéaires simples dont la variable explicative est successivement chacune des sept altitudes. Le coefficient de corrélation permet de juger la qualité des estimations.

2. Résolution spatiale et température

La relation entre la normale des températures moyennes *et altitude* a d'abord été calculée pour chacun des 12 mois et chacune des 7 résolutions. Les coefficients directeurs obtenus étant (en valeurs absolues) anormalement faibles (compris entre -0.45 et -0.2), des analyses complémentaires ont été entreprises afin d'explorer deux hypothèses : effet littoral et colinéarités entre prédicteurs. Pour tester l'effet littoral, nous n'avons retenu que les stations situées à moins de 400m d'altitude. En janvier (Tab. 2), le très fort coefficient directeur traduit l'effet côtier : les températures littorales, très élevées, diminuent rapidement à mesure que l'altitude augmente. En juillet, lorsque la mer est plus fraîche que l'air, ce coefficient est très faible. L'effet littoral perturbe donc la relation altitude/température. Pour les stations supérieures à 400 m, les coefficients directeurs restent très faibles toute l'année (tab. 2).

Tableau 2. Coef. directeur en janvier et juillet pour deux classes d'altitudes séparées par le seuil de 400 m

	Altit faibles	Altit élevées
Janvier	-1.82	-0.33
Juillet	-0.27	-0.37

Nous émettons l'hypothèse que ces coefficients directeurs faibles seraient expliqués par la colinéarité entre l'altitude, la latitude et la longitude. En France, les altitudes ne sont pas réparties aléatoirement dans l'espace. Si les altitudes faibles se rencontrent *grosso modo* partout, les fortes altitudes sont exclusivement situées dans les moitiés sud et est et, parmi elles, les plus hautes (Alpes et Pyrénées) sont concentrées aux marges sud-ouest et sud-est. Ainsi, puisque toute l'année, il fait chaud au sud et que les altitudes principales sont au sud, il fait donc statistiquement « chaud » en altitude. L'effet de la continentalité est contrasté saisonnièrement. Le coefficient directeur (en valeur absolue) entre altitude et température moyenne est plus fort en hiver. En effet, à l'est, du fait de la continentalité (et donc statistiquement en altitude), il fait « anormalement froid ». A l'opposé, en été la continentalité fait qu'il fait « chaud » à l'est (et donc statistiquement en altitude). La solution, pour vérifier ces hypothèses et obtenir des corrélations et des coefficients directeurs non perturbés par ces colinéarités, est de travailler sur des corrélations partielles entre altitude (dans ce qu'elle apporte de spécifique vis à vis de la latitude et de la longitude) et température. Les résultats de ces analyses sont exposés ci-dessous. En valeur absolue, la corrélation entre l'altitude (ici la partie résiduelle de l'altitude après que l'influence de la latitude et de la longitude ont été supprimées) et la température est maximale durant le printemps ($r = -0,95$ en mai) et minimale en hiver (fig. 2).

Mais l'information qui nous intéresse le plus dans le cadre de cette étude est la progressive diminution de la valeur du r lorsque l'on passe de la résolution la plus fine (250 m) à la résolution la plus grossière (16 km). Notons toutefois l'exception de la résolution 4 km qui produit une qualité d'estimation à peine meilleure que le 2 km. En mai, le r obtenu pour les deux résolutions extrêmes est respectivement de -0.95 et -0.9 ; en janvier, on perd un peu moins, le r passant de 0,82 à -0,80.

La valeur moyenne du r^2 obtenue par chacune des sept résolutions illustre bien cette baisse de la qualité de la relation entre altitude et température à mesure que la résolution augmente (tab. 3). On peut en conclure que, si l'on souhaite procéder à des interpolations de température, il est préférable de s'appuyer sur un MNT à résolution fine qui produit de meilleures estimations que sur des MNT à résolution plus grossière.

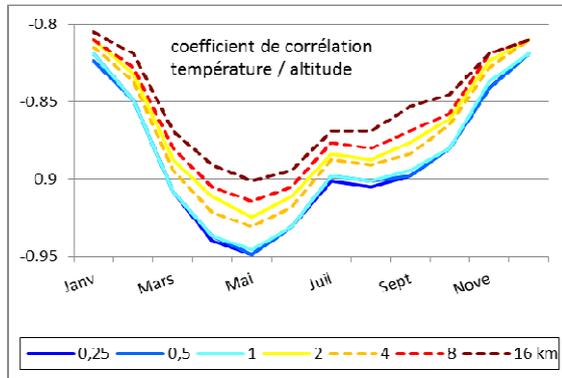


Figure 2. Variation mensuelle du coefficient de la corrélation temp./altit. selon les sept résolutions

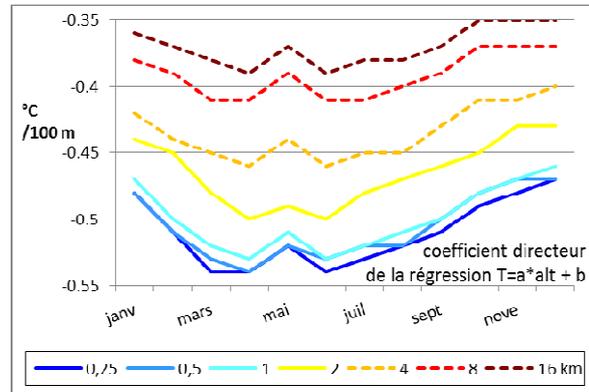


Figure 3. Variation mensuelle de la pente de la corrélation temp./altit. selon les sept résolutions

Le coefficient directeur des régressions permet d'apprécier la baisse de température par unité d'altitude (fig. 3). Ici aussi on observe une variation annuelle significative avec des valeurs absolues plus élevées en hiver qu'au printemps. Ici aussi, l'augmentation de la résolution entraîne une baisse du coefficient directeur : en avril et en décembre, on passe respectivement de $-0,39^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ à $-0,54$ et de $-0,35^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ à $-0,47$ de la résolution 16 km à la résolution 250 m. En moyenne (tab. 3), la pente passe de $-0,37$ à $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ en augmentant la résolution.

Tableau 3. Valeur moyenne du r^2 et coefficient directeur ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) pour chacune des sept résolutions

	0,25	0,5	1	2	4	8	16 km
r^2	0.79	0.79	0.78	0.75	0.76	0.74	0.73
Coef. dir.	-0.51	-0.51	-0.50	-0.47	-0.44	-0.39	-0.37

3. Résolution spatiale et cumuls mensuels de précipitation

La relation entre précipitation *et* altitude est également calculée pour chaque mois et chaque résolution d'altitude (fig. 4) sans qu'il n'ait été, ici, effectué de corrélation partielle. Les r sont faibles en hiver (0,3) et élevés en été (0,6 en juin et août) à l'exception de juillet (0,37).

Cet effondrement du r au cœur de l'été n'est pas dû à une erreur dans les données car on retrouve le même résultat avec d'autres bases de données pluviométriques. Une analyse plus détaillée a montré que ce schéma concerne les stations appartenant aux départements situés à l'ouest de la France (50% de l'aire d'étude). Les stations des départements du Nord, du Centre et de l'Est, qui ne présentent presque aucune variation du r au cours de l'année, ne contrarient donc pas ce schéma. Seules les stations situées sur le pourtour méditerranéen et le long de la frange côtière de la mer du Nord présentent un schéma différent (r maximum en été) mais leur poids (20%) a une faible influence sur l'effondrement des r de juillet.

Pour chaque mois, l'écart (dépendant de la résolution) entre le r maximum et le r minimum, reste stable tout au long de l'année (0,3 ; 0,4) sauf en mai (0,7). L'augmentation

quasiment régulière des r avec la réduction des résolutions décrite précédemment n'est pas observée ici. En effet, la corrélation la plus élevée ($r^2=0,22$) est obtenue avec la résolution de 2 km (tab. 4). Les résolutions plus fines présentent des corrélations moindres ($r^2=0,21$) tandis que le score le plus faible ($r^2=0,18$) est obtenu avec la résolution la plus grossière.

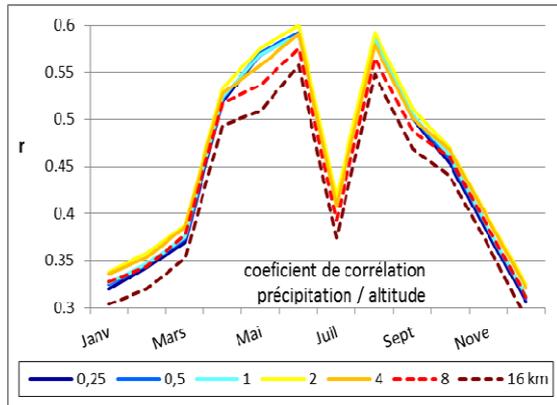


Figure 4. Variation mensuelle du coefficient de la corrélation précipitation / altitude selon les sept résolutions

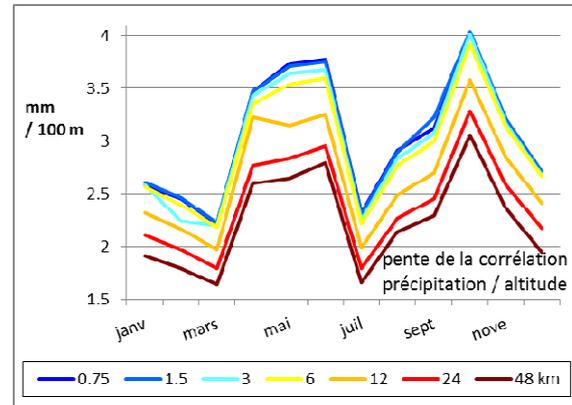


Figure 5. Variation mensuelle de la pente de la corrélation précipitation / altitude selon les sept résolutions

Tableau 4. Valeur moyenne du r^2 et pente (mm/100 m) pour chacune des sept résolutions

	0,25	0,5	1	2	4	8	16 km
r^2	0,21	0,21	0,21	0,22	0,21	0,20	0,18
pente	3,04	3,05	2,98	2,95	2,68	2,42	2,24

La valeur du gradient altitudinal des précipitations présente deux saisons marquées par des valeurs élevées (printemps et automne). L'hiver et l'été, notamment mars et juillet, présentent des valeurs beaucoup plus faibles. Le gradient altitudinal des précipitations décroît lentement entre la résolution de 250 m et celle de 2 km (3,04 à 2,95). Sa décroissance avec l'augmentation de la résolution s'accélère ensuite pour atteindre la valeur de 2,24 mm/100 m avec la résolution de 16 km.

Conclusion

Exprimer l'altitude selon des résolutions spatiales variées transforme l'information qui sert à expliquer la variation spatiale des deux facteurs du climat que sont la température et les précipitations. A mesure que la résolution augmente, il se produit un aplatissement des reliefs émergents (crêtes) et un adoucissement des reliefs en creux (vallées) de sorte que, les accidents topographiques majeurs s'estompant, la surface résultante présente une variabilité spatiale de plus en plus faible ; leur pouvoir explicatif des facteurs du climat s'en trouve modifié. Aussi, la résolution spatiale avec laquelle les altitudes sont représentées joue un rôle crucial sur la qualité des estimations de température et de précipitation.

La température est d'autant mieux expliquée par l'altitude que celle-ci est représentée à résolution fine. Cela signifie que la variation spatiale de la température est sensible aux éléments topographiques d'échelle fine. Avec les précipitations, ce n'est pas la résolution la plus fine qui explique le mieux la répartition spatiale des cumuls pluviométriques, mais la résolution à 2 km.

Cette étude a apporté quelques réponses à un problème crucial en géomatique : oui, la résolution spatiale des MNT est importante ; oui, son influence est spécifique de chaque

facteur climatique. Elle a surtout posé des questions d'où notre intention de la poursuivre. Le recours à des normales de température nous a été commandé par les données dont nous disposons. Il aurait bien sûr été plus judicieux de traiter les normales de t_n et t_x dont la variation spatiale obéit à des règles physiques différentes. Le recours à des normales est commode en ce sens que la masse de données à traiter est minimale. Mais l'approche de ce problème au moyen de données journalières de t_n et t_x permettrait une analyse incomparablement plus fine. Enfin, à la résolution la plus fine envisageons nous de reproduire cette étude sur les huit départements des régions Bourgogne et Franche-Comté, un espace certes plus réduit que la France continentale, mais plus homogène, exempt des effets littoraux, ce en mobilisant des données à échelle fine : le MNT à 50 m de résolution, les t_n et t_x quotidiens. On pourra alors constater si l'amélioration du r^2 , constaté ici du 16 km au 250 m, se poursuit vers le 100 m et le 50 m. On pourra également vérifier si la résolution optimale des MNT pour l'explication de la variation spatiale des cumuls pluviométriques reste à 2 km.

Références bibliographiques

Daly C., Conklin D. R., Unsworth M. H., 2010 : Local atmospheric decoupling in complex topography alters climate change impacts. *Int. J. Climatol*, **30**, 1857-1864.

Joly D., 2007 : L'information géographique au service de la climatologie. Chapitre 1. *Information géographique et climatologie*. Carrega P.. Paris : Hermès science : Lavoisier (Traité IGAT - Information géographique et aménagement du territoire. Aménagement et gestion du territoire), pp. 23-72.

Joly D., Brossard T., 2007 : Contribution of environmental factors to temperature distribution at different resolution levels on the forefield of the Loven Glaciers (Svalbard). *Polar Record*, **43**(4), 353-359.

Joly D., Brossard T., Cavailhès J., Hilal M., Tourneux F-P., Tritz C., Wavresky P., 2009: A quantitative approach to the visual evaluation of landscape. *Annals of the Association of American Geographers*, **99**(2), 292-308.