



**HAL**  
open science

# LA MODELISATION TOPOCLIMATIQUE DE LA TEMPERATURE ET SON APPLICATION A L'EXTREME SUD-EST FRANÇAIS

Annick Douguédroit

► **To cite this version:**

Annick Douguédroit. LA MODELISATION TOPOCLIMATIQUE DE LA TEMPERATURE ET SON APPLICATION A L'EXTREME SUD-EST FRANÇAIS. XXX<sup>e</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : Climat, ville et environnement, May 2019, Thessalonique, Grèce. hal-03550537

**HAL Id: hal-03550537**

**<https://hal.science/hal-03550537>**

Submitted on 17 Feb 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LA MODELISATION TOPOCLIMATIQUE DE LA TEMPERATURE ET SON APPLICATION A L'EXTREME SUD-EST FRANÇAIS

**DOUGUÉDROIT A. (1)**

(1) Aix-Marseille Université, Côte d'Azur Université, Avignon Université, CNRS, ESPACE, UMR 7300, Avignon, France. UMR 7300 ESPACE – Technopôle de l'Environnement Arbois Méditerranée, Avenue Louis Philibert, Bâtiment Laennec Hall C – BP 80 – 13545 Aix-en-Provence Cedex 04. annick.dougedroit@univ-amu.fr.

**Résumé :** La modélisation topoclimatique de la température dans un espace thermiquement homogène repose sur la relation entre la température et les formes du relief qui commandent la quantité d'énergie solaire reçue le jour et l'accumulation d'air froid en fin de nuit. Elle permet d'estimer, hors des Ilots de chaleur urbains, dans les milieux dits « ruraux », un gradient moyen de température fonction de l'altitude pour chacun des 4 principaux topoclimats (adrets et ubacs à composantes sud et nord, fonds de vallée et sommets). Elle est appliquée à l'Intérieur méditerranéen qui, le liseré littoral étant exclu, compose la totalité de l'Extrême sud-est français. Elle a ainsi permis, sans obligation de listes de stations identiques, d'estimer, en fonction des données disponibles, le réchauffement de cette région entre 1959-65 et 2011-17 pour les seuls adrets et fonds de vallée. Dans les 2 cas ce sont essentiellement les températures diurnes qui augmentent.

**Mots clés:** Température, Modélisation topoclimatique, Extrême sud-est français, Réchauffement

**Summary:** *Topoclimatical modelling of temperature and its application to the French Extreme South-east.* Temperature topoclimatical modelling in the thermally homogeneous areas relies on the relation between temperature and landscape aspects which command solar radiation receipts during day and cold air accumulation towards the end of the night. It allows the estimation, out of the Heat Urban Islands, in the areas called "rural", of a temperature mean gradient according to altitude for each of the main topoclimates (south-facing and north-facing slopes with south and north components, valley bottoms and summits). It is applied to the Mediterranean Interior which, after excluding the coastal land strip, forms the whole extreme south-east of France. So it has allowed, without being obliged to get identical station lists, to estimate, according to the available data, the area warming between 1959-65 and 2011-17 for only south-facing slopes and valley bottoms. In both cases, only diurnal temperatures mainly increase.

**Keywords:** Temperature, Topoclimatical modelling, French extreme south-east, Warming

## Introduction

La modélisation topoclimatique de la température repose sur une méthode de calcul de la décroissance des températures en montagne appliquée à l'estimation des gradients des températures. Mise au point pour la réalisation de la Carte climatique détaillée de la France au 1/200.000, elle a été testée dans les Alpes françaises du sud pour réaliser la Carte climatique détaillée de Gap (Douguédroit et de Saintignon, 1970).

En effet la distribution relativement lissée des conditions thermiques, à la différence de celle des précipitations, permet de définir des ensembles régionaux que l'on peut considérer, dans certaines conditions, comme homogènes. Dans la mesure où la modélisation topoclimatique définit les valeurs caractéristiques de chaque topoclimat dans un espace homogène, elle présente l'intérêt de ne pas exiger pour un même topoclimat deux listes identiques de stations à deux périodes différentes. Et par voie de conséquence d'estimer le réchauffement d'une région thermique homogène entre deux périodes caractérisées par des listes de stations différentes l'une de l'autre comme c'est le cas dans la région étudiée.

## 1. La méthode topoclimatique

La méthode topoclimatique repose sur la relation entre la température et les formes du relief. La différenciation des valeurs thermiques mesurées par des appareils à différentes hauteurs au-dessus du sol en fonction des formes du relief donc de l'exposition à la radiation solaire qui commande la température mesurée, a suscité l'intérêt des climatologues depuis plus d'un siècle (Barry and Blanken, 2016).

### 1.1 Les différentes positions topoclimatiques

La classification des topoclimats, qui est fonction de la quantité d'énergie solaire reçue, s'applique dans les espaces que l'on qualifie souvent de ruraux, c'est-à-dire hors des agglomérations urbaines dont les « Ilots de Chaleur Urbains » (ICU) sont conditionnés par la composition, la disposition et le volume des différents matériaux employés dans la construction des immeubles et voies de circulation... Ces ICU forment des espaces aux conditions thermiques différentes de celles du milieu qui les environnent (Oke, 1976).

Quatre principaux topoclimats représentent la distribution de la température de ces espaces ruraux. Ils dépendent de la quantité d'énergie reçue fonction de l'orientation et des pentes des versants. Il s'agit des versants orientés vers le sud ou adrets (A sur la Fig.1), des versants orientés vers le nord ou ubacs (U sur la Fig.1), des fonds de vallée (FV sur la Fig.1) et des sommets (S sur la Fig.1). Les conditions topoclimatiques diffèrent entre elles aussi bien de jour que de nuit.

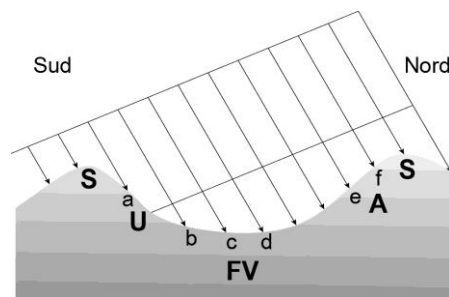


Figure 1. Les différents topoclimats. S : sommet, U : ubac, FV : fond de vallée et A : adrets. La radiation solaire est représentée divisée en faisceaux égaux qui tombent sous un angle compatible avec les latitudes moyennes de l'hémisphère nord et sur des surfaces inégales représentées en coupe.

La même quantité de radiation solaire tombe de jour, pour une pente égale, sur la surface la plus réduite sur les adrets (faisceau ef), puis sur une surface voisine ou un peu plus vaste sur les fonds de vallée (faisceau cd) et sur une surface beaucoup plus grande sur les ubacs (faisceau ab). D'où le constat, dans des conditions identiques, que les températures maximales diurnes (TX) les plus chaudes sont relevées sur les A et les S, alors qu'elles sont un peu moins chaudes dans les FV et nettement moins sur les U. En revanche la température minimale (TN) de nuit obéit à une autre logique, celle de l'écoulement de l'air froid. A pente égale, sans obstacle, les écoulements sont identiques sur les A et U d'où des TN voisines en fin de nuit. En revanche l'air froid s'accumule dans les FV dont les TN sont les plus froides alors qu'il s'écoule facilement des sommets dont les TN sont les moins froids des 4 positions topographiques.

Les valeurs des températures de ces différents topoclimats ne peuvent être ainsi comparées qu'à l'intérieur d'une région thermiquement homogène, la distribution relativement lissée des conditions thermiques, à la différence de celle des précipitations, permet de définir des ensembles régionaux que l'on peut considérer, dans certaines conditions, comme homogènes.

## **1.2 Les relations linéaires entre les températures des topoclimats et l'altitude**

L'estimation des températures des différents topoclimats repose sur une méthode de calcul de la décroissance des températures en montagne qui permet d'estimer les gradients des températures des différents topoclimats. Il existe autant de relations linéaires entre température et altitude que de différentes positions topographiques possibles en montagne, à condition de disposer des données correspondantes. En France, la modélisation topoclimatique ne peut être utilisée que pour les topoclimats d'adrets et de fonds de vallée.

La modélisation topoclimatique, dans une région homogène d'un point de vue thermique, repose sur l'existence de plusieurs relations linéaires entre température et altitude qui correspondent aux différentes positions topographiques présentes dans la région. Les relations température - altitude, considérées comme linéaires, sont représentées par des régressions linéaires du type  $Y = aX + b$  soit  $T = T_0 - bZ$  avec  $T =$  température mesurée,  $T_0 = T$  au niveau de la mer,  $b$  le gradient et  $Z$  l'altitude de  $T$ . Le calcul de ces régressions doit respecter les normes statistiques habituelles, en particulier celle du nombre d'individus pris en compte, correspondant ici au nombre de postes de mesures de chaque topoclimat. C'est pourquoi il est nécessaire de calculer l'écart-type de la série de température et calculer un intervalle de confiance à 80% qui permet de calculer les écarts à la droite de régression entre lesquels, à une altitude donnée, la valeur probable de la température moyenne aura 80% de chance de se trouver (Douguédroit et de Saintignon, 1970). D'une part le nombre de postes météorologiques situés hors des ICU dans une région thermiquement homogène ne sont pas nombreux et d'autre part leurs localisations présentent dans nombre de cas, en particulier pour les mesures des TN, une proximité d'obstacles qui rendent leurs résultats incorrects en se trouvant placés près d'obstacles à l'écoulement de l'air froid la nuit, ce qui fait baisser de façon anormale les mesures des minima. Leurs valeurs se trouvent hors des intervalles de confiance, nous obligeant à les éliminer des séries retenues. Au total le nombre de stations retenu finalement pour chacun des deux topoclimats est de l'ordre de la vingtaine.

Même si cette modélisation a été mise au point pour une région montagneuse, les Alpes françaises du sud, elle n'est pas applicable à la seule montagne mais tous les espaces en dehors des îlots de chaleur urbains (ICU). Nous avons ainsi montré que l'Extrême sud-est de la France était composé, du point de vue thermique, d'un vaste ensemble, l'Intérieur, regroupant les Alpes du sud et l'espace qui les prolonge à des altitudes plus basses, jusqu'à un mince liseré côtier bordant la Mer Méditerranée où la température est sous l'influence de celle de la mer (Douguédroit, 2018).

## **2. Application au cas du réchauffement de l'Extrême sud-est français**

L'Extrême sud-est français est essentiellement composé de l'Intérieur méditerranéen qui comprend les Alpes françaises du sud et leur prolongement méridional jusqu'à un mince liseré côtier dont les températures sont soumises à l'influence de la température de la Mer Méditerranée bordière. Cet intérieur possède, sur le plan thermique, une unité (Douguédroit, 2018). Pour estimer son réchauffement depuis le milieu du siècle dernier nous allons comparer la variation des températures moyennes annuelles entre celles des Alpes du sud en 1959-1965 et celles de cet Intérieur méditerranéen en 2011-2017.

### **2.1 Les conditions de la comparaison**

L'extension des deux espaces que nous nous proposons de comparer n'est pas identique puisqu'il s'agit des seules Alpes du sud dans la première période, 1959-1965 (Douguédroit et de Saintignon, 1970), et de tout l'Intérieur méditerranéen pendant la seconde, 2011-2017 (Fig

2). Toutes les deux correspondent à des régions homogènes sur le plan thermique. Côté nord a été retenue la limite habituelle dans les années 60, la ligne des grands cols définie par E. Bénévent (Bénévent, 1926). Avec le réchauffement climatique, elle ne peut pas avoir glissé vers le sud. Son possible glissement vers le nord n'a pas été étudié. Côté occidental, le manque de stations dans la Dôme montagnaise en 1959 l'a fait alors laisser de côté ; pour ne pas compliquer la comparaison, nous avons gardé la même limite occidentale en 2011-17. Côté oriental la limite de l'étude s'appuie sur la frontière franco-italienne. Côté méridional nous avons montré que la limite des Alpes françaises du sud n'était pas une limite thermique qui doit être reportée au liseré littoral (Douguédroit, 2018).

Il n'est pas possible actuellement de reconstituer pour l'ensemble de l'Intérieur méditerranéen les calculs faits pour les seules Alpes du sud (mais avec 2 stations plus méridionales) pour la période 1959-1965. Les données utilisées pendant cette première période ne sont plus, sauf exceptions, disponibles auprès de Météo-France, aussi bien pour les Alpes du sud que pour la région plus méridionale de l'Intérieur méditerranéen. Les deux listes de stations ne comportent que 6 stations des Alpes du sud communes (2 adrets et 4 fonds de vallée) ayant gardé le même nom, c'est-à-dire restées sur le territoire de la même commune, bien que toutes sauf une, aient changé de localisation entre temps. Plus au sud seules les données de 5 autres stations sont disponibles pour 1959-65. Trois sont communes avec la série 2011-17 mais, sauf une, Le Luc, elles ont beaucoup changé d'altitude. Nous avons vérifié que leurs moyennes s'intégraient dans les moyennes obtenues pour 1959-65. C'est pourquoi nous avons considéré comme représentatives de l'ensemble de l'Intérieur méditerranéen les moyennes annuelles obtenues pour les seules Alpes du sud en 1959-1965.

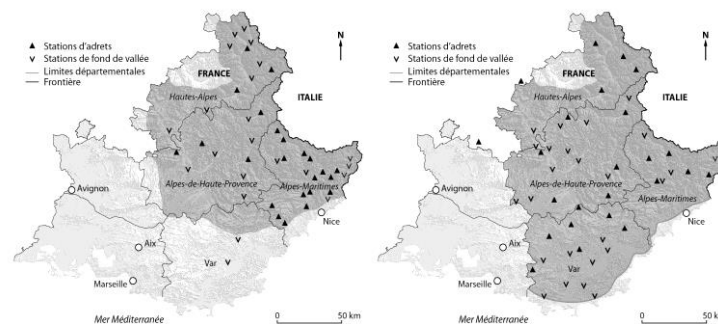


Figure 2. Localisation des stations en 1959-1965 (à gauche) et en 2011-2017 (à droite)

La durée des 2 périodes est de 7 ans, ce qui peut paraître peu. Elle est commandée par celle de la première étude qui a reposé sur la durée maximale possible en 1965 avec les stations disponibles pour les Alpes du sud. Nous avons conservé la même durée dans la seconde étude.

## 2.2 Le réchauffement entre 1959-1965 et 2011-2017

Les deux seules expositions susceptibles d'être étudiées avec les données 1959-1965 sont les adrets (A) et les fonds de vallée (FV). L'estimation du réchauffement ne peut alors porter que sur ces deux seules expositions. La série 1959-65 comprend 40 postes, soit 22 (A) et 18 (FV) et celle de 2011-17 respectivement 20 (A) et 27 (FV). Depuis le début de ce siècle il a été installé plus de stations dans les fonds de vallée que sur les adrets. Mais nous sommes loin d'avoir pu toutes les retenir à cause, en particulier, de valeurs de certaines températures minimales de fin de nuit (TN) qui présentent une trop grande dispersion par rapport à la moyenne. Elles sont ou trop ou pas assez chaudes par rapport à la majorité d'entre elles, ce que les fichiers des postes, lorsqu'ils existent, permettent d'expliquer par l'existence de particularités locales non optimales en fin de nuit (Météo-France, 2016 et 2017). Ces stations n'ont pas été retenues.

Les stations d'adrets sont moins nombreuses en 2011-2017 qu'en 1959-1965 (20 et 22 stations respectivement) en dépit de l'extension de la surface concernée (Fig. 2). Le secteur au-dessus de 1000mètres est peu représenté. Les moyennes sont comparées sur le Tab 1 (toutes les variances sont supérieures à 0.85 et 4 à 0.90).

Tableau 1. Comparaison entre les températures moyennes des adrets en 1959-1965 et 2011-2017. T0 est la température au niveau de la mer et la valeur du Gradient est pour 100 mètres de dénivellation.

Adrets	Année	T0	Gradient
TX	2011-2017	23.0	0.57
TX	1959-1965	21.6	0.61
TN	2011-2017	10.5	0.55
TN	1959-1965	10.4	0.55
TM	2011-2017	16.5	0.57
TM	1959-1965	16,2	0.60

Seules les températures diurnes (TX) ont notablement augmenté : 1.4°C au niveau de la mer, l'adret le plus bas étant à 109m d'altitude (Fig. 3). Mais la différence entre les gradients des deux périodes fait que l'écart diminue en altitude. Les températures de fin de nuit, TN, pratiquement identiques ne se sont pas réchauffées depuis le milieu du siècle dernier.

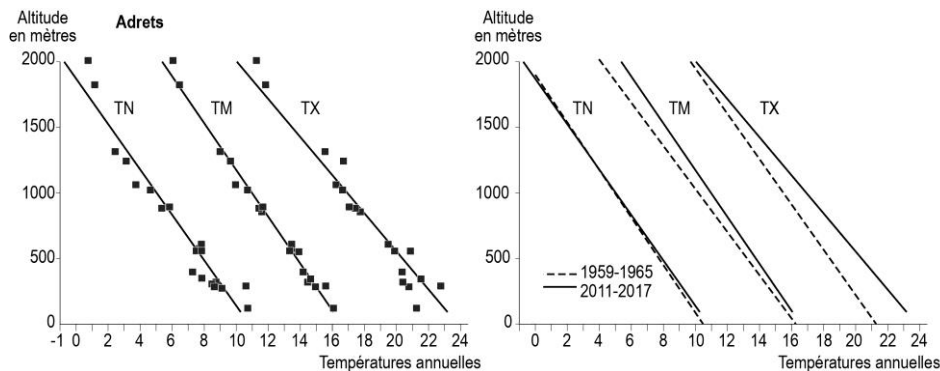


Figure 3. Adrets. A gauche : Moyennes 2011-2017 avec stations. A droite : courbes des deux périodes 1959-1965 et 2011-2017.

Les stations de fonds de vallée sont quant à elles plus nombreuses en 2011-2017, 27 dont 8 dans la partie basse de l'Intérieur méditerranéen, au sud des Alpes (18 en 1959-1965).

Tableau 2. Comparaison entre les températures moyennes des fonds de vallée en 1959-1965 et 2011-2017. Même légende que Tableau 1.

Fonds de vallée	Année	T0	Gradient
TX	2011-2017	22.6	0.56
TX	1959-1965	21.1	0.59
TN	2011-2017	8.6	0.58
TN	1959-1965	8.8	0.56
TM	2011-2017	15.6	0.57
TM	1959-1965	14.8	0.61

Les minima (TN) des fonds de vallée, avec eux aussi peu de stations au-dessus de 1000m, ont une valeur moyenne quasiment identique pendant les deux périodes alors que les maxima (TX) augmentent de 1.5°C, valeur quasiment identique à celle des adrets. En ce qui concerne l'évolution des températures entre les deux périodes, les deux topoclimats présentent des évolutions très similaires.

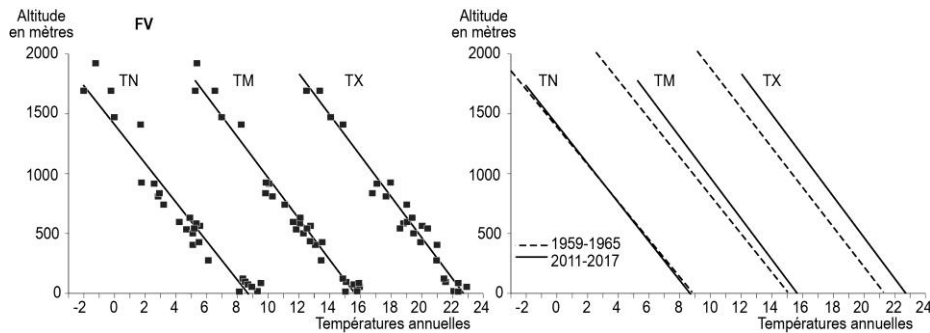


Figure 4. Fonds de vallée. Même légende que pour la Figure 3.

Au total seul le réchauffement des températures diurnes est net, ce qui confirme ce que nous avons trouvé pour la période 2009-2015 (Douguédroit, 2018) mais il est aussi plus élevé. Les fortes températures estivales de 2016 et surtout 2017 se font sentir sur la moyenne annuelle. Mais la comparaison se faisant sur des moyennes avec des marges d'erreur il n'est pas possible de conclure catégoriquement sur quelques dixièmes de degrés.

## Conclusion

La méthode topoclimatique permet d'estimer les températures moyennes et les gradients altitudinaux des espaces topographiques définis en fonction de leurs positions par rapport à la radiation solaire dans les espaces « ruraux », hors des « Ilôts de chaleur urbains ». Leur utilisation est contrainte par les localisations des stations météorologiques placées sur les adrets et dans les fonds de vallée.

Son application à l'étude du réchauffement de l'Extrême sud-est de la France montre l'existence d'une grande unité thermique, l'Intérieur méditerranéen, réunissant la partie montagneuse et le pays plus bas seul considéré comme appartenant au climat méditerranéen et n'excluant qu'un liseré littoral aux températures influencées par la mer. Depuis le milieu du siècle dernier, ce sont avant tout les maxima diurnes qui ont augmenté.

Une telle distribution de la température est vraisemblablement représentative de tout le pourtour de la Mer Méditerranée, posant la question de son articulation avec la définition à base pluviométrique du climat méditerranéen.

## Bibliographie

- Barry R.G., Blanken P.D., 2016. *Microclimate and Local Climate*. Cambridge University Press, 316 p.
- Douguédroit A., 2018. Modélisation du réchauffement des Alpes du sud à la Mer Méditerranée (1959-2015). *Actes du XXXI<sup>ème</sup> Colloque de l'AIC*, Nice, 3-7 juillet 2018, 175-181.
- Douguédroit A., de Saintignon M.-F., 1970. Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagne de latitudes moyennes : exemple des Alpes du Sud. *Revue de Géographie Alpine*. LVIII, 3, 453-472
- Oke T. R. 1976. *Boundary layer climate*. Methuen, New-York.