



**HAL**  
open science

# MODELISATION DU RECHAUFFEMENT DES ALPES DU SUD A LA MER MEDITERRANEE (1959-2015)

Annick Douguedroit

► **To cite this version:**

Annick Douguedroit. MODELISATION DU RECHAUFFEMENT DES ALPES DU SUD A LA MER MEDITERRANEE (1959-2015). XXX<sup>e</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie: Climat, ville et environnement, Jul 2018, Nice, France. hal-03550635

**HAL Id: hal-03550635**

**<https://hal.science/hal-03550635>**

Submitted on 1 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.

# MODELISATION DU RECHAUFFEMENT DES ALPES DU SUD A LA MER MEDITERRANEE (1959-2015) DOUGUÉDROIT A.

Aix Marseille Univ, Univ Nice Sophia Antipolis, Avignon Université, CNRS, ESPACE, Nice, France 29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix en Provence, France [annick.douguedroit@univ-amu.fr]

**Résumé.** Cette étude prolonge celle sur le réchauffement des Alpes du sud depuis le siècle dernier (Douguédroit, 2017). La même méthode d'analyse reposant sur la distinction entre données d'adrets et de fonds de vallée et les deux mêmes périodes 1959-65 et 2009-15 a été appliquée à l'espace entre le sud des Alpes et la mer Méditerranée. Cet espace s'est révélé être divisé en 2 espaces : d'une part un espace intérieur caractérisé par le prolongement vers des altitudes moins élevées du climat des Alpes du Sud, donc du même réchauffement, d'autre part un espace littoral méditerranéen influencé par la mer qui le rend moins chaud de jour et plus tiède la nuit que l'intérieur. C'est le modèle climatique des montagnes bordant la mer Méditerranée, une trilogie de climats méditerranéens se succédant en altitude, littoral, intérieur et atténué.

**Mots-clés :** Réchauffement, climats méditerranéen littoral, méditerranéen intérieur et méditerranéen atténué, France.

**Abstract: Modelling the warming from the french southern alps to the Mediterranean sea (1959-2015).** This study extends results obtained on the warming of the French Southern Alps since the last century (Douguédroit, 2017). The same analysis method based on the difference between South facing slopes and valley bottoms data during the same 1959-65 et 2009-15 periods has been applied on the area between the southern Alps limit and the Mediterranean Sea. This area is divided in two parts: an inner one, the extension of the Southern Alps climate in lower altitudes with a similar warming and a Mediterranean coast influenced by the sea making it colder during day and warmer in night than the inner area. Such is the Mediterranean climate model of the mountains along the Mediterranean: it consists in the trilogy of the coastal, inland and mitigated Mediterranean climates.

**Keywords:** Warming, coastal Mediterranean, inland Mediterranean climate, mitigated Mediterranean climate, France.

## Introduction

Dans une précédente étude nous avons pu estimer le réchauffement climatique dans les Alpes du Sud entre le milieu du 20<sup>e</sup> siècle (1959-1965) et la période actuelle (2009-2015) (Douguédroit, 2017) en appliquant à cette région le modèle reposant sur une méthode de calcul de la décroissance des températures en montagne pour l'estimation des gradients des températures dans les Alpes françaises du Sud (Douguédroit et de Saintignon, 1970). Cette méthode, dans une région homogène d'un point de vue thermique, repose sur l'existence de plusieurs relations linéaires entre température et altitude correspondant aux différentes positions topographiques présentes en montagne. Les données de température disponibles ont obligé à se limiter aux deux cas des adrets et des fonds de vallée.

La comparaison entre les deux périodes a permis d'estimer le réchauffement climatique dans les Alpes du Sud entre les années 60, juste avant le début du réchauffement rapide actuel daté pour l'Europe dans les années 70 (IPCC, 2013) et la période actuelle.

## 1 Méthodes et données

La méthode reposant sur la distinction entre les topoclimats définie en 1970 (Douguédroit et de Saintignon, 1970) a été utilisée pour estimer le réchauffement de l'ensemble de la région allant des Alpes du Sud à la mer Méditerranée.

### 1.1 Définition de nouveaux ensembles thermiques homogènes

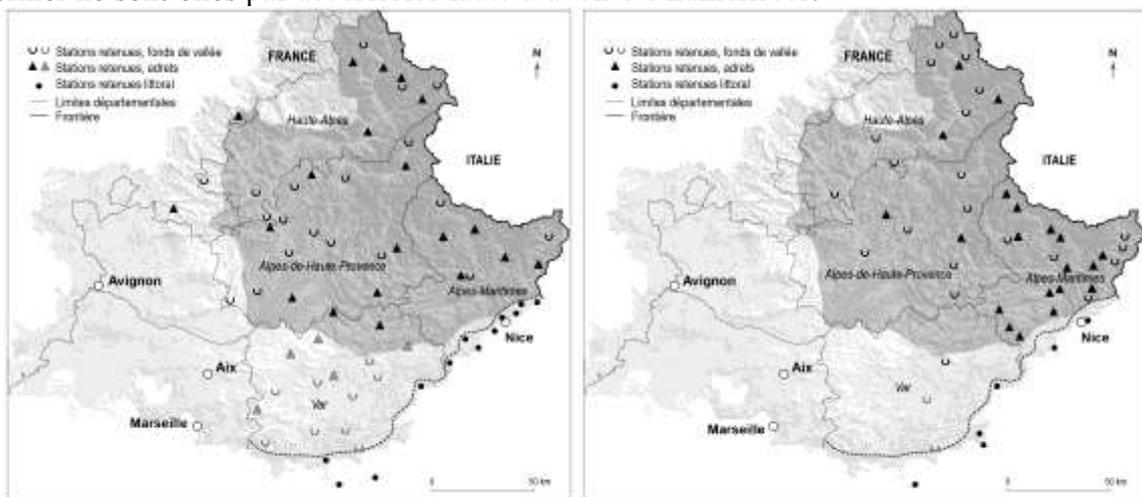
Les limites des Alpes du Sud retenues en 1970 étaient constituées au nord par la « ligne des cols » telle qu'elle est définie comme la limite climatique entre Alpes du Nord et du Sud depuis le siècle dernier (Bénévent, 1926). Elles ont été imposées à l'ouest par la quasi absence au siècle dernier de stations dans la partie montagneuse du département de la Drôme et à l'est par la frontière.

Au sud la limite définie comme celle des « Alpes du Sud », c'est-à-dire de la montagne, a été placée sur les falaises méridionales dominant le bas pays méditerranéen dans le Var et

prolongée dans les Alpes Maritimes en incluant les stations d'altitude à peu près équivalente. Nous avons bien vu dans les deux études précédentes que la question principale posée par ces limites est bien celle du sud. Il est certain que la région située au nord de cette dernière et considérée comme la partie montagneuse de la région (les Alpes du Sud) est bien homogène d'un point de vue thermique. Il s'agit maintenant de déterminer la régionalisation thermique de la partie du territoire de climat dit « méditerranéen » située plus au sud et d'en définir le réchauffement.

### 1.2 Les données

Pour estimer le réchauffement de cette région méditerranéenne française il nous faut pour la partie nouvelle de l'espace étudié à la fois des séries de données pour 2009-15 et 1959-65. Le résultat est quelque peu décevant : au sud des Alpes du Sud nous n'avons trouvé que 28 stations en activité actuellement et seulement 7 pour le milieu du siècle dernier, 4 étant communes aux 2 séries (Fig. 1). Ainsi la quasi-totalité des stations fonctionnant au siècle dernier ne sont-elles pas accessibles faute d'avoir été numérisées.



**Figure 1.** La localisation des stations (2009-15 à gauche et 1959-65 à droite).

En gris foncé les Alpes du Sud et en gris clair la région dite « méditerranéenne » ajoutée ici.

L'étude sur les Alpes du Sud s'était heurtée au même problème qui avait pu être contourné grâce à la publication des résultats pour 1959-65 (Douguédroit et de Saintignon, 1970). Les moyennes annuelles sont seul utilisées ici comme dans l'étude précédente (Douguédroit, 2017).

### 1.3 Quelle méthode d'étude ?

La relation température – altitude utilisée précédemment est une régression linéaire 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  $T$  qui dépend de la position topographique des points de mesure en montagne. Mais seules les températures de deux positions topographiques principales peuvent être calculées en montagne à cause des données disponibles (Météo-France, 2017), les « adrets » (A) sur versants à orientation générale sud et les fonds de vallées riches en accumulations d'air froid en fin de nuit (FV).

Une telle méthode mise au point pour la montagne est-elle applicable hors de la montagne, dans un pays aux différences d'altitude bien plus faibles ?

Dans des études précédentes nous avons bien déterminé l'existence de sites de fonds de vallée plus ou moins larges dans la région française de climat dit « méditerranéen » mais sans généraliser à cet espace l'existence des topoclimats (Douguédroit et Bridier, 2015, 2016). C'est ce que nous allons faire ici.

Nous avons éliminé toutes les stations urbaines représentatives des îlots de chaleur urbains,

excédent thermique associé au bâti par rapport aux topoclimats.

L'espace au sud des Alpes du sud s'est révélé être divisé du point de vue thermique en deux ensembles, le littoral au sud, près de la mer, et tout le reste de la région jusqu'aux Alpes du Nord. Cette différence ne repose que sur un décalage thermique dans une variation altitudinale semblable.

## 2. Le réchauffement des Alpes du sud et de l'espace méditerranéen intérieur

Les équations de régression de la température en fonction de l'altitude calculées sur les séries 2009-2015 des stations de la région dite méditerranéenne intérieure située au sud des Alpes du Sud donnent des valeurs qui se confondent avec celles établies pour les Alpes du Sud en 2017 (Douguédroit, 2017). Elles se présentent comme le prolongement vers des altitudes plus basses des relations précédentes, avec également des résultats très significatifs (Tab. 1).

Nous avons retenu les équations de l'ensemble Alpes du Sud pour 1959-65 (Douguédroit, 2017) pour 2 raisons. La continuité des équations de décroissance de la température en fonction de l'altitude entre cet espace alpin et celui de Méditerranée intérieure pour la série 2009-15 rend très probable la même continuité au milieu du siècle dernier, ce que confirment les données de la seule station commune située en fond de vallée, celle du Luc, dont les moyennes annuelles se placent sur la courbe des Alpes pour les TX et tout près pour les TN.

### 2.1 Décroissance des températures moyennes annuelles sur les adrets

Nous ne pouvons que rappeler les conclusions présentées en 2017 puisque nous avons pour toute la région méditerranéenne intérieure jusqu'aux sommets (Tab. 1) des valeurs identiques ou très proches de celles obtenues précédemment pour les seules Alpes du Sud (Douguédroit, 2017).

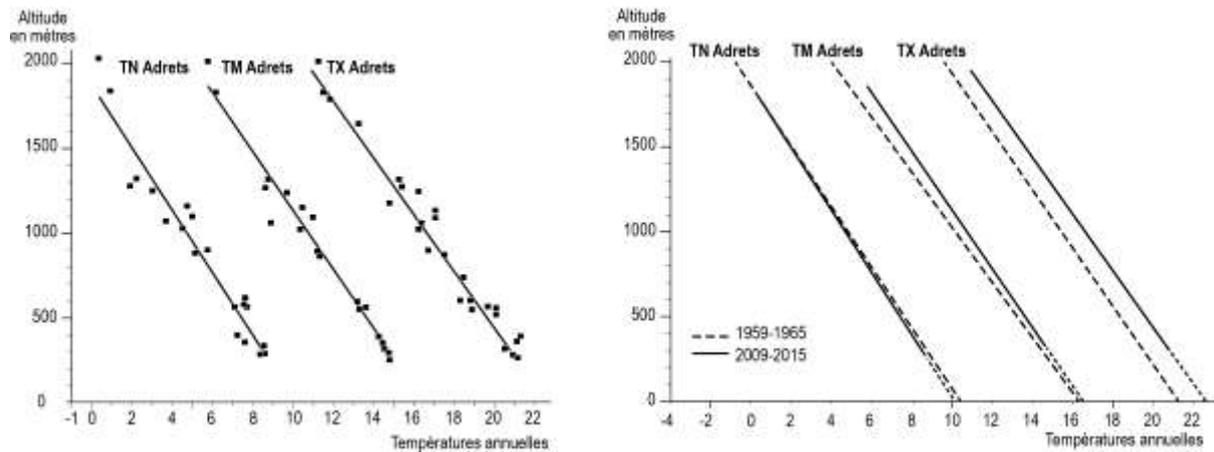
**Tableau 1** : Comparaison entre les équations 2009-2015 des adrets des Alpes du Sud et de l'espace méditerranéen intérieur et 1959-65 des Alpes du Sud, avec T0 : Température au niveau de la mer, Gradient : pour 100m et R : Variance.

Topoclimat	Espaces	T0	Gradient	R2
2009-15 Adrets TX	Alpes du Sud	22.8	0.59	0.96
	Alpes du Sud et Med Int	22.6	0.58	0.96
1959-65 Adrets TX	Alpes du Sud	21.6	0.61	0.97
2009-15 Adrets TN	Alpes du Sud	9.9	0.52	0.91
	Alpes du Sud et Med Int	9.9	0.51	0.94
1959-65 Adrets TN	Alpes du Sud	10.4	0.55	0.92

Seul le réchauffement des températures maximales (TX) est bien net : de 1°C à 1.2°C, ce qui représente près de 200m de glissement vers le haut des valeurs des TX identiques aux deux périodes (Fig. 2). En une quarantaine d'années, puisque comme nous le rappelions en 2017, le réchauffement n'a commencé que dans les années 70 (IPCC, 2013), il a franchi au moins les deux tiers de l'augmentation de 1.5°C et même un peu plus si la série avait été continuée jusqu'en 2017.

Les résultats obtenus pour les températures minimales (TN) souffrent de la réduction du nombre de cas susceptibles d'être retenus à cause de la localisation des stations météorologiques avec obstacles à l'écoulement de l'air ou au réchauffement matinal signalés en 2017. Ils présentent néanmoins un grand contraste avec ceux obtenus pour les TX.

Les droites 2009-15 des Alpes du Sud et des Alpes du Sud avec l'Intérieur méditerranéen sont pratiquement confondues et se séparent à peine de celle de 1959-65 pour les seules Alpes du Sud qui part plus chaude de 0.5°C au niveau de la mer mais se confond très vite en altitude avec les précédentes droites (Fig.2). Les températures de fin de nuit sur les adrets n'ont pas changé ici en montagne depuis le milieu du siècle dernier.



**Figure 2.** Décroissance des températures moyennes annuelles en fonction de l'altitude sur les adrets des Alpes du Sud et de l'espace méditerranéen intérieur : à gauche 2009-2015, à droite les deux séries 2009-2015 et 1959-1965 pour les seules Alpes du Sud.

## 2.2 Décroissance des températures moyennes annuelles dans les fonds de vallée (FV)

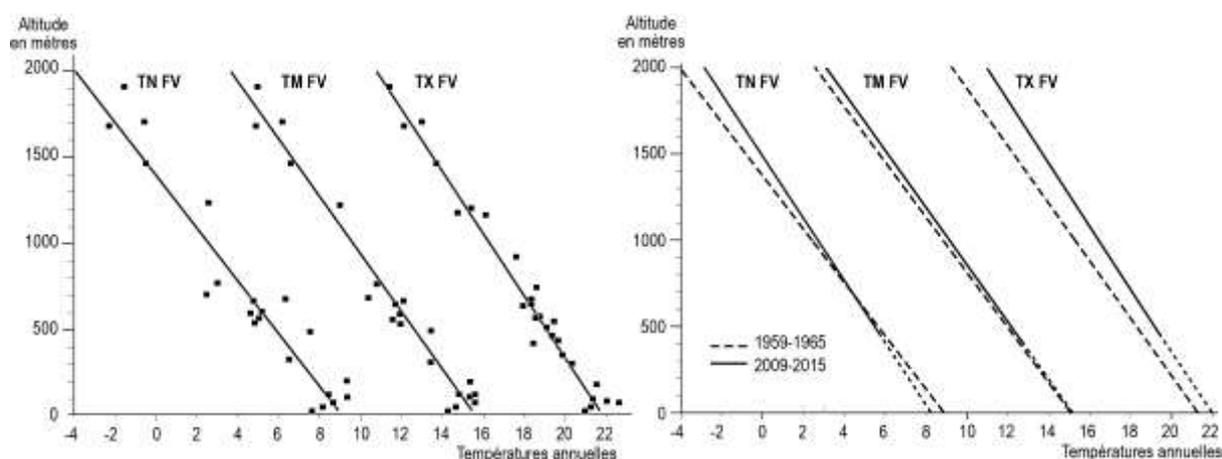
On retrouve pour les TX des Fonds de vallée (Tab. 2, Fig. 2), comme pour ceux des Adrets, des conclusions identiques à celles obtenues en 2017 (Douguédroit, 2017).

**Tableau 2 :** Comparaison entre les équations 2009-2015 des Fonds de vallée des Alpes du Sud et de l'espace méditerranéen intérieur et 1959-65 des Fonds de vallée des Alpes du Sud, avec T0 : Température au niveau de la mer, Gradient : pour 100m et R : Variance.

Topoclimats	Espaces	T0	Gradient	R2
2009-15 FV TX	Alpes du Sud	22.0	0.51	0.98
	Alpes du Sud et Med Int.	21.9	0.56	0.89
1959-65 FV TX	Alpes du Sud	21.2	0.59	0.98
2009-15 FV TN	Alpes du Sud	8.2	0.55	0.87
	Alpes du Sud et Med Int.	8.3	0.60	0.89
1959-65 FV TN	Alpes du Sud	8.8	0.64	0.97

Les remarques relatives aux droites représentatives des TX et des TN pour 2009-15 par rapport à celles de 1959-65 sont très voisines de celles faites sur les adrets. Les droites des TX démarrent proches de la même valeur « au niveau de la mer » mais celle des Alpes du Sud et du Méditerranéen intérieur diminue moins vite à cause de son gradient un peu moins élevé. Les droites des TN se croisent. C'est l'effet de la prise en considération des 11 stations nouvelles de basse altitude aux valeurs d'ailleurs assez dispersées. L'écart avec 1959-65 au niveau de la mer est de 0.8°C ; il s'inverse avec l'altitude du fait du gradient plus élevé. Le réchauffement est net de jour mais un peu inférieur à celui des adrets. Les TN des FV, comme celles des adrets, un peu plus chaudes « au niveau de la mer » en 1959-65 qu'actuellement gardent des valeurs très proches de celles de 2009-15 en altitude du fait des écarts entre les gradients.

Aussi bien sur les adrets que dans les fonds de vallée le réchauffement est net de jour, sans pour autant s'élever au même niveau pour les FV, alors que l'on n'en trouve peu trace la nuit.



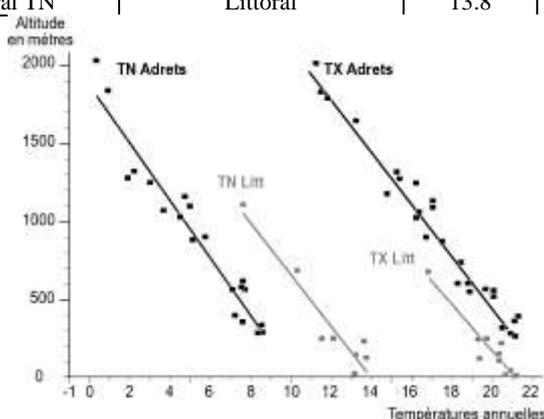
**Figure 3.** Décroissance des températures moyennes annuelles en fonction de l'altitude dans les fonds de vallée (FV) des Alpes du Sud et de l'espace méditerranéen intérieur : à gauche 2009-2015, à droite les deux séries, 2009-2015 et 1959-1965 pour les seules Alpes du Sud avec 3 points, ceux des valeurs du Luc.

### 2.3 Le littoral

Onze stations ont été associées au littoral du fait de leur localisation sur des adrets face à la mer et sur les plages et de leurs températures, y compris deux situées en altitude face à la mer (Peille : 1106m et Eze-Revere : 677m). L'ensemble s'est révélé hétérogène. Deux stations ont été éliminées de la liste retenue pour les TX, Peille particulièrement chaude de jour et Nice-aéroport (2m d'altitude au bord même du rivage de l'aéroport) plus froide. Les valeurs des TN apparaissent plutôt sous la dépendance des grandes zones de températures marines ; les 8 stations plus orientales, y compris celle de Peille, forment un ensemble cohérent (Tab.3, Fig. 4). C'est un point à mieux préciser ultérieurement.

**Tableau 3 :** Comparaison entre les équations 2009-2015 des Alpes du Sud et de Méditerranéen intérieur et du Littoral, avec T0 : Température au niveau de la mer, Gradient : pour 100m et R : Variance.

Topoclimats	Espaces	T0	Gradient	R2
2009-15 Adrets TX	Alpes du Sud et Med Int.	22.6	0.58	0.96
2009-15 Littoral TX	Littoral	21.0	0.53	0.70
2009-15 Adrets TN	Alpes du Sud et Med Int.	9.95	0.59	0.88
2009-15 Littoral TN	Littoral	13.8	0.54	0.90



**Figure 4.** Droites 2009-15 des TX et TN du Littoral et des Adrets des Alpes du Sud et de Méditerranée intérieure.

Les deux droites de régression obtenues pour le Littoral sont pratiquement parallèles à celles des Adrets, mais moins chaude pour les TX et nettement plus chaude pour les TN, différence associée à celle des variations jour-nuit des chaleurs spécifiques de la terre et de la mer. Les données des 4 seules stations présentes en 1959-65 en notre possession sont situées à très faible altitude avec des minima compris entre 11.8°C et 12.2°C sauf St Jean Cap Ferrat qui atteint 13.1°C et des maxima entre 18.4°C et 19.2°C, ensemble de valeurs inférieures aux actuelles (Fig. 4).

### 3. Conclusion

L'espace compris depuis la Ligne des cols définie comme la limite climatique entre Alpes du Sud et Alpes du Nord (Bénévent, 1926) jusqu'à la Mer Méditerranée est du point de vue thermique divisé en deux : un grand ensemble intérieur bordé au sud d'un littoral étroit le long du rivage. Le premier est l'espace du climat méditerranéen de l'intérieur, comprenant en continuité thermique bas-pays et montagne et le second le méditerranéen littoral.

A l'échelle mondiale, Peel et al. (2007), reprenant la classification de Köppen-Geiger, le climat Csa ou « méditerranéen » est un climat tempéré, avec un été sec et chaud. La partie haute de l'espace étudié ici a bien un été sec mais des températures des deux mois, l'un le plus chaud, l'autre le plus froid, inférieures à celles de la définition du Csa ; il n'est donc pas alors considéré comme « méditerranéen ». A l'échelle régionale cette question de la limite septentrionale du climat méditerranéen est encore compliquée par l'existence de plusieurs conceptions divergentes fondées sur le critère pluviométrique (Péguy, 1970).

Néanmoins, au nord du littoral, il existe bien une continuité thermique, y compris dans le réchauffement, entre le sud reconnu comme appartenant au climat méditerranéen et les Alpes du sud. Ces dernières présentent à la fois un été relativement chaud et une sécheresse relative d'été. Il s'agit d'un climat méditerranéen atténué, prolongeant en montagne le climat méditerranéen. Cette trilogie climatique méditerranéenne définie ici, méditerranéen littoral, méditerranéen et méditerranéen atténué d'altitude n'est pas spécifique de la région étudiée ici ; elle est représentative de tous les espaces de montagne bordant la mer Méditerranée.

Les espaces de climat méditerranéen et méditerranéen atténué étudiés ici présentent entre 1959 et 2015 un réchauffement identique pendant le jour qui fait monter les isothermes de l'ordre de 200m sur les adrets et un peu moins dans les fonds de vallée. En revanche on ne constate pas de réchauffement des températures de nuit. Le littoral, moins chaud de jour et plus chaud la nuit s'est réchauffé aussi sans que l'on puisse être plus précis faute de données suffisantes disponibles pour le milieu du siècle dernier.

### Bibliographie

- Bénévent E., 1926 : Le climat des Alpes françaises du Sud. *Mémorial de L'Office National Météorologique de France*, **14**, 436 p.
- Douguédroit A., 2017 : Le réchauffement dans les Alpes du Sud (1959-2015). *Actes du XXX<sup>e</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sfax 03-06 juillet 2017*, 382-387.
- Douguédroit A. et Bridier S., 2015 : Variations of mean annual minimum temperatures in the French Mediterranean region from 1951 to 2010, *ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment*, 20-24 July 2015, Toulouse, France.
- Douguédroit A. et Bridier S., 2016 : Influence du changement climatique sur les variations spatio-temporelles des températures de la région méditerranéenne française, *2016 ANNUAL IGU COMB CONFERENCE : The Mediterranean sustainability between climate change and human mobility*. Antalya/Turkey, 1st – 5th June.
- 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
- IPCC, 2013 : Climate Change 2013 : *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- La Météorologie Nationale, 1970. Stations : Données.
- Météo-France, 2016 : Données publiques – Informations sur les stations - Fiches de poste
- Météo-France, 2017 : Publiothèque. Historiques des stations.
- Peel M. C., Finlayson B. L., and McMahon T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644.
- Péguy Ch.-P., 1970 : *Précis de Climatologie*. Paris, Masson et Cie, 468 p.