



**HAL**  
open science

# Analyse statistique des descripteurs climatiques de la répartition et de la densité des 25 espèces méditerranéennes et alpines

Matthieu Vignal

## ► To cite this version:

Matthieu Vignal. Analyse statistique des descripteurs climatiques de la répartition et de la densité des 25 espèces méditerranéennes et alpines. XXXIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie : Les échelles spatiales et temporelles fines, Jul 2018, Nice, France. <hal-03494092>

**HAL Id: hal-03494092**

**<https://hal.science/hal-03494092v1>**

Submitted on 28 Jan 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.



HAL Authorization

# ANALYSE STATISTIQUE DES DESCRIPTEURS CLIMATIQUES DE LA RÉPARTITION ET DE LA DENSITÉ DE 25 ESPÈCES MEDITERRANÉENNES ET ALPINES

VIGNAL M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doctorant, UMR ESPACE, Université Nice Sophia Antipolis, Université Côte d'Azur, 98, bd E. Herriot, 06204 Nice Cedex, Matthieu.VIGNAL@unice.fr

**Résumé :** D'après le dernier rapport du GIEC, la modification de la répartition des espèces végétales est l'une des conséquences possibles de l'élévation des températures. Les recherches sur les répartitions actuelles et futures des espèces doivent reposer sur une base statistique fiable et rigoureuse. Dans cette communication, il est proposé une analyse statistique de données climatiques à fine résolution spatiale extraites de sites d'études botaniques situés au sud-est de la France. L'objectif est d'expliquer la répartition et la variation spatiale des densités des espèces étudiées au moyen de descripteurs climatiques.

**Mots-Clés :** Analyse statistique ; Abondance ; Downscaling statistique ; Niche écologique ; Aire de répartition.

**Abstract :** According to the last IPCC report, plant species distribution changes are one of the possible consequences of rising temperatures. Studies about actual and future species distribution need to be based on thorough statistical analyzes. In this communication, we offer a statistical analysis of fine spatial resolution climatic data extracted within botanic sites localised in south-east of France. The aim is to explain species distribution and species abundance variation through climatic data.

**Keywords:** Statistical analysis ; Abundance ; Downscaling statistics ; Ecological niche ; Species distribution.

## Introduction

D'après le dernier rapport du GIEC, l'élévation des températures pourrait entraîner des modifications de répartition des espèces végétales (GIEC, 2014). Dans la recherche sur la répartition actuelle et future de la flore, une connaissance fine de l'écologie des espèces étudiées est un préalable nécessaire afin de juger de la pertinence du modèle utilisé et de ses résultats (Guisan *et al.*, 2017).

Ces analyses statistiques préalables permettent une meilleure compréhension des relations climat – végétation, notamment par la compréhension des facteurs qui conditionnent la répartition des espèces végétales et la variation de leur densité (Guisan *et al.*, 2017). Elles permettent, *in fine*, de caractériser leur niche écologique et d'asseoir les modèles de répartition sur une base statistique fiable et rigoureuse.

Dans cette communication, il est proposé une analyse statistique de données climatiques extraites de sites d'études botaniques situés au Sud-Est de la France, région qui se caractérise par une biodiversité exceptionnelle (Thompson, 2005) et de forts contrastes climatiques. L'objectif est d'expliquer la répartition des espèces étudiées et la variation observée de leur densité au moyen de descripteurs climatiques.

## 1. Espèces étudiées et données.

### 1.1. Espèces étudiées.

Cette communication propose une étude détaillée d'un nombre restreint d'espèces permettant d'une manière relative de caractériser la grande diversité botanique de la zone étudiée. 25 espèces sont sélectionnées en fonction de leur physionomie, de leur type végétatif, de leur stratégie r/K, de leur mode de dispersion ainsi que par leur écologie.

Les espèces étudiées, suivies de leur acronyme, sont les suivantes : *Abies alba* (AbAl) ; *Acis nicaeensis* (AcNi) ; *Antennaria dioica* (AnDi) ; *Aphyllanthes monspeliensis* (ApMo) ;

*Arctostaphylos uva-ursi* (ArUvUr); *Argyrolobium zanonii* (ArZa); *Atractylis cancellata* (AtCa); *Beradia subacaulis* (BeSu); *Brachypodium retusum* (BrRe); *Carlina acanthifolia* (CaAn); *Cytisophyllum sessilifolium* (CySe); *Dryas octopetala* (DrOc); *Gentiana bavarica* (GeBa); *Gentiana verna* (GeVa); *Juniperus oxycedrus* (JuOx); *Lilium pomponium* (LiPo); *Ostrya carpinifolia* (OsCa); *Pinus cembra* (PiCe); *Pinus uncinata* (PiUn); *Prenanthes purpurea* (PrPu); *Primula marginata* (PrMa); *Quercus pubescens* (QuPu); *Sorbus aria* (SoAr); *Sorbus aucuparia* (SoAu); *Vaccinium uliginosum* (VaUl).

Les observations floristiques sont issues du portail de données naturalistes SILENE Flore administré par des conservatoires botaniques nationaux alpins et méditerranéens. Pour les 25 espèces étudiées, 129 000 observations floristiques ont été récoltées.

## **1.2. Données climatiques et topographiques**

### **1.2.1 Modèle numérique de terrain (IGNF).**

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) résulte de la concaténation de dalles MNT issues de la base de données BD ALTI® V2 de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGNF). D'une résolution de 25 mètres, ce MNT a été rééchantillonné à 50 mètres avant d'être traité pour la création de descripteurs topographiques tels que la pente, l'exposition, la distance à la mer, l'encaissement et la rugosité.

### **1.2.2 Sorties du modèle ALADIN-Climat (CNRM).**

Le modèle ALADIN-Climat du Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) est un modèle de circulation générale d'une résolution spatiale de 12 kilomètres. Le modèle ALADIN-Climat propose des données climatiques sur la période de référence ainsi que sur des simulations du climat futur selon les scénarios établis par le GIEC (GIEC, 2014). Dans le cadre de cette étude, trois sorties de ce modèle sur la période de référence ont été utilisées. Il s'agit des températures minimales moyennes mensuelles (NORTNAV), des températures maximales moyennes mensuelles (NORTXAV), et la somme des précipitations moyennes mensuelles (NORRR). Les données ont été exportées sur l'ensemble de la zone d'étude – 600 mailles de la grille du modèle ALADIN-Climat – depuis le site DRIAS-Climat<sup>1</sup>.

### **1.2.3 Stations météorologiques (Météo-France).**

Les données des stations météorologiques proviennent de Météo-France<sup>2</sup>. 70 stations sur l'ensemble de la zone d'étude ont été sélectionnées. Elles sont localisées dans des milieux aux caractéristiques topographiques et géographiques variées. Elles se caractérisent par la présence de données complètes sur la période de référence 1961-1990 pour les trois descripteurs climatiques étudiés.

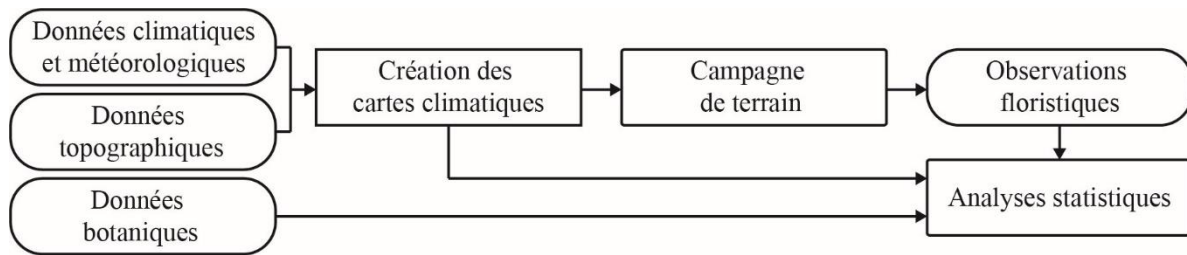
## **2. Méthode.**

La méthode élaborée dans cette étude est une chaîne de traitements composée de trois étapes. La création des cartes climatiques à fine résolution spatiale (1) permet l'élaboration d'une campagne de récolte d'observations floristiques (2) afin d'établir des relations statistiques entre ces observations floristiques et les variables climatiques (3). La figure 1 illustre cette chaîne de traitements. Les sous-parties suivantes détaillent chacune d'entre elles.

---

<sup>1</sup> <http://www.drias-climat.fr>

<sup>2</sup> <https://donneespubliques.meteofrance.fr>



**Figure 1.** Organigramme méthodologique.

## **2.1. Cartes climatiques à fine résolution spatiale.**

### **2.1.1 Les températures.**

La création des cartes climatiques à fine résolution spatiale repose sur la méthode de descente d'échelle statistique par régression environnementale mise en place par Martin *et al.*, (2013). La méthode consiste à affiner les données climatiques par l'intermédiaire de calculs de régressions linéaires multiples entre les données issues du modèle ALADIN-Climat, d'une résolution de 12 kilomètres, et les descripteurs de l'environnement d'une résolution de 50 mètres (Martin *et al.*, 2013). Les calculs de ces régressions sont effectués de façon itérative en supprimant le descripteur le moins performant à chaque itération afin de ne retenir que les descripteurs les plus performants. Les calculs des régressions sont effectués pour chaque mois de l'année, sans recherche de liens entre les mois. La mesure de la robustesse des modèles est réalisée au travers du coefficient de corrélation multiple (R), du coefficient de détermination ( $R^2$ ), de la racine de la moyenne des carrés des résidus (RMCE) et de l'analyse des résidus. La validation des régressions environnementales consiste à comparer les températures modélisées aux valeurs réellement observées par les stations météorologiques (Martin *et al.*, 2013). Dès lors, les modèles sélectionnés sont ceux qui présentent, à la fois un  $R^2$  le plus élevé possible et un RMCE le plus faible possible, mais aussi ceux dont les résultats présentent des écarts à la réalité les plus faibles possible.

### **2.1.2 Les précipitations.**

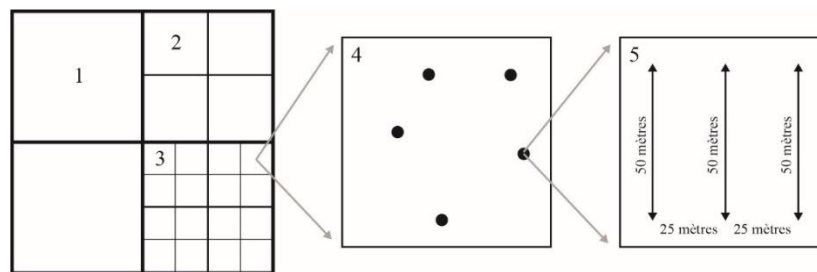
Concernant les précipitations, la méthode de descente d'échelle statistique par régression environnementale s'est avérée insatisfaisante (Martin *et al.*, 2013). Dès lors, une méthode géostatistique d'interpolation a été sélectionnée (Li et Heap, 2014). Bien que les localisations des centroïdes des mailles ALADIN n'ont pas une réelle signification géographique, elles ont tout de même été utilisées afin de permettre la création prochaine de cartes de précipitations futures selon les différents scénarios climatiques proposés par les données du modèle ALADIN-Climat. Le choix de la méthode d'interpolation résulte d'une comparaison entre plusieurs méthodes (Stahl *et al.*, 2006 ; Joly et al., 2007 ; Ly *et al.*, 2013). La sélection de la méthode la plus adaptée est effectuée par comparaison des résultats aux valeurs des stations météorologiques. Cette comparaison est réalisée pour trois descripteurs climatiques que sont la moyenne mensuelle, la somme annuelle et le nombre de mois sec annuel. Le krigeage est la méthode sélectionnée.

## **2.2. Récolte des observations floristiques.**

En complément des observations floristiques récoltées sur le portail de données naturaliste SILENE Flore, une campagne de terrain a été réalisée sur la période juin-octobre 2017. En effet, malgré une quantité importante d'informations, les données issues de ce portail renseignent uniquement sur la présence d'une espèce dans un site. Aucune information n'est renseignée

concernant la densité de l'espèce *in situ*, et il est impossible de distinguer une absence réelle d'une absence d'observation.

Dès lors, une campagne de relevés botaniques a été réalisée sur 295 sites. L'objectif est d'une part, de comprendre la variation spatiale de la densité des espèces étudiées et d'autre part, de confronter ces données à celles du portail SILENE Flore. Cette campagne consiste à réaliser des relevés botaniques par l'intermédiaire de transects linéaires. Sur chaque site, trois transects linéaires d'une longueur de 50 mètres espacés de 25 mètres sont réalisés (cf. figure 2). Sur ces transects, il est relevé la présence ou l'absence des 25 espèces étudiées ainsi que leur densité *in situ*. Au sein des espèces étudiées, les plantes herbacées sont relevées par pointage systématique tous les mètres. Les arbres, arbustes et buissons sont eux relevés en mètres linéaires de présence sur le transect. La localisation de ces placettes de 50 mètres de côté est le résultat d'un échantillonnage stratifié sur l'ensemble de la zone d'étude. Trois strates sont prises en compte : une strate climatique, une strate physionomique et une strate géologique (cf. figure 2). À la suite de cette campagne de terrain, trois tableaux sont créés : un tableau de présence/absence, un tableau de densité et un tableau des descripteurs climatiques.



**Figure 2.** Représentation schématique de l'échantillonnage stratifié élaboré. 1 : couche de données climatiques ; 2 : couche de données physionomiques ; 3 : couche de données géologiques ; 4 : localisation aléatoire des placettes ; 5 : méthode de relevé.

### 2.3. Analyses statistiques.

Les analyses statistiques sont divisées en deux étapes : une étape synthétique et une étape analytique (Alexandre et Génin, 2011). L'étape synthétique consiste à analyser l'ensemble des observations floristiques et l'ensemble des descripteurs climatiques. Il s'agit ici d'obtenir une vision simplifiée et organisée de la répartition des espèces étudiées et de la variation de leur densité (Alexandre et Génin, 2011). Dans un premier temps, deux Analyses Factorielles des Correspondances (AFC) sont réalisées. La première, à partir du tableau de présence/absence issu des observations floristiques du portail SILENE Flore, et la deuxième à partir des données issues de la campagne de terrain. L'objectif est double, il s'agit de comprendre la structuration spatiale des observations floristiques et, *de facto*, des espèces étudiées d'une part, et de réaliser une confrontation entre les deux sources d'informations d'autres part. Dans un deuxième temps, une Analyse Canonique des Correspondances (ACC) est réalisée afin de confronter le tableau de présence/absence au tableau des descripteurs climatiques. L'objectif est de comprendre le rôle de chacun des descripteurs climatiques sélectionnés dans la structuration spatiale des observations floristiques mise en évidence par les AFC (Alexandre et Génin, 2011). L'étape analytique consiste à analyser les espèces individuellement afin de faire ressortir les particularités de chacune. L'objectif est d'analyser les rôles respectifs des descripteurs climatiques dans la répartition des espèces et la variation de leur densité pour, *in fine*, déterminer leurs seuils bioclimatiques. La théorie de l'information appliquée à l'analyse fréquentielle telle qu'elle a été élaborée par Daget et Godron (1982) permet cette analyse. Notamment par l'examen des profils écologiques, de l'efficacité des descripteurs, et de la compensation entre facteurs (Godron, 2012).

### 3. Résultats.

#### 3.1. Cartes climatiques.

Les modèles statistiques sélectionnés présentent un coefficient de corrélation multiple R compris entre 0.97 et 0.99, et un coefficient de détermination R<sup>2</sup> compris entre 0.94 et 0.99. Les valeurs RMCE sont comprises entre 0.42 et 0.85. En moyenne, l'écart entre les sorties des modèles et la réalité des stations météorologiques est de 1.3 °C pour les températures minimales, et 1.1 °C pour les températures maximales. Toutefois, ces valeurs varient selon les mois modélisés (cf. tableau 1). Concernant les cartes des précipitations moyennes mensuelles, l'écart moyen entre les sorties des modèles et les valeurs des stations météorologiques est de 13.1 millimètres. Les écarts à la réalité varient de 7.6 millimètres pour le mois d'avril à 17.7 millimètres pour le mois de septembre (cf. tableau 1).

**Tableau 1.** Comparaison des résultats avec les valeurs des stations météorologiques. Tn : Températures minimales ; Tx : Températures maximales ; Pr : Précipitation ; 01 : Janvier ; 02 : Février ; 03 : Mars ; 04 : Avril ; 05 : Mai ; 06 : Juin ; 07 : Juillet ; 08 : Août ; 09 : Septembre ; 10 : Octobre ; 11 : Novembre ; 12 : Décembre.

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Tn	2.0	1.4	1.6	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5	1.4	1.8	1.3	1.3
Tx	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.2	1.1	1.8	1.1	0.9	0.9	1.1
Pr	14.1	14.9	9.8	7.6	14.9	16.9	13.0	9.6	17.7	13.5	14.4	11.2

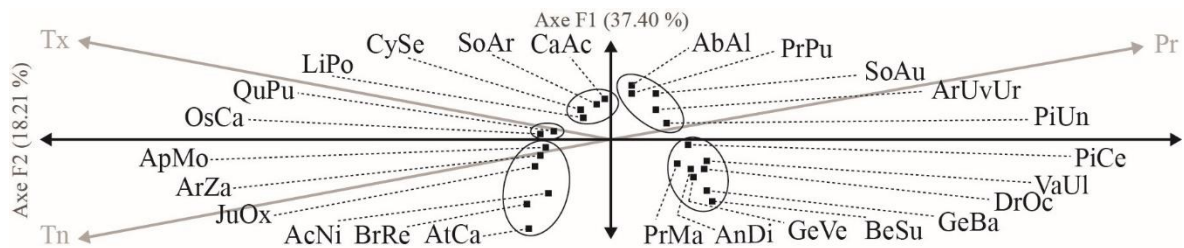
L'analyse combinée des cartes climatiques des températures et des précipitations permet d'observer que sur les 70 stations météorologiques, 61 stations ont un nombre de mois sec équivalent aux valeurs réelles, 5 stations avec un mois sec supplémentaire et 4 stations avec un mois sec en moins. Ainsi, pour 7 % des stations météorologiques, les modèles sélectionnés sous-estiment les précipitations et, pour 6 %, ils les surestiment. La somme des 12 cartes climatiques générées permet de comparer la somme annuelle modélisée aux valeurs réellement observées. L'écart moyen est de 90 millimètres avec un écart type de 70 millimètres. Au regard de ces résultats, ces cartes climatiques sont pertinentes dans le cadre de cette étude.

#### 3.2. Répartition des espèces et variation de leur densité le long des gradients climatiques.

Les résultats des AFC et des ACC mettent en évidence l'importance des températures et des précipitations dans la structuration des espèces étudiées. Les espèces étudiées se succèdent le long des gradients climatiques du méditerranéen à l'alpin. L'ACC (cf. figure 3) permet de comprendre les poids respectifs des variables climatiques dans leur répartition. La campagne de terrain permet d'obtenir un jeu de données original qui indique la densité des espèces à plusieurs échelles spatiales. D'une part, la densité moyenne des espèces étudiées sur l'ensemble des sites d'études (DSMO1 – cf. tableau 2), et d'autre part, la densité moyenne au sein des sites où l'espèce a été observée (DSMO2 - cf. tableau 2). Des corrélations significatives sont observées entre la densité et les valeurs des variables climatiques dans l'espace. Ces analyses associées à l'analyse fréquentielle permettent de déterminer les seuils bioclimatiques des espèces étudiées.

**Tableau 2.** Exemple de densité observée des espèces étudiées lors de la campagne de terrain.

	AbAl	ApMo	ArUvUr	BrRe	DrOc	OsCa	PiUn	QuPu
DSMO1	1.7	4.7	0.3	1.8	0.4	1.3	0.3	10.8
DSMO2	12.5	18.6	8.9	19.2	16.9	23.6	11.4	21.3



**Figure 3.** Représentation schématique du résultat de l'ACC.

## Conclusion

La connaissance fine du climat à l'échelle régionale est d'une importance capitale dans la compréhension des relations climat – végétation. Les espèces ici étudiées se succèdent le long des gradients climatiques jusqu'à rencontrer, une à une, leurs seuils bioclimatiques. Leur niche climatique, et leurs limites de tolérance sont identifiables par le couplage entre les analyses multivariées et l'analyse fréquentielle. Les relations climat – abondance sont en revanche plus difficilement caractérisables. Il apparaît nécessaire d'une part, de prendre en compte des facteurs supplémentaires notamment anthropiques et biotiques, et d'autre part d'utiliser des méthodes d'analyse spatiale pour comprendre et expliquer la variation spatiale de la densité des espèces végétales. Enfin, l'utilisation des données du modèle ALADIN-Climat permettra d'articuler cette étude avec la modélisation basée sur les données des projections climatiques futures afin d'étudier les changements potentiels dans la répartition des espèces étudiées et la variation de leur densité.

## Bibliographie

- Alexandre F., Génin A., 2011. *Géographie de la végétation terrestre. Modèles hérités, perspectives, concepts et méthodes*. Paris, A. Colin, 304 p.
- Daget P., Godron M., 1982. *Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés*. Paris, Masson, 163 p.
- GIEC, 2014. *Changement climatiques 2014 : Rapport de synthèse*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, Pachauri R. K., Meyer L. A. Suisse, 161 p.
- Godron, 2012. *Écologie et évolution du monde vivant (volume 2). L'échelle crée le phénomène*. Paris, L'Harmattan, 385 p.
- Guisan A., Thuiller W., Zimmermann N. E., 2017. *Habitat suitability and distribution models*. Cambridge University Press, 462 p.
- Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailles J., Hilal M., Wavreski P., 2007. Densité des points de mesure, types et limites des modèles d'interpolation. Journées de Climatologie, Grenoble, 22-23 mars 2007, Climat et société : Mesures et modèles, 49-65.
- Li J., Heap A. D., 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences : A review. *Environmental Modeling & Software*, **53**, 173-189.
- Ly S., Charles C., Degré A., 2013. Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **17**, 392-406.
- Martin N., Carrega P., Adnes C., 2013. Downscaling à fine résolution spatiale des températures actuelles et futures par modélisation statistique des sorties ALADIN-Climat sur les Alpes-Martimes (France). *Climatologie*, **10**, 51-72.
- Stahl K., Moore R.D., Floyer J.A., Asplin M.G., McKendry L.G., 2006. Comparaison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density. *Agricultural and Forest Meteorology*, **139**, 224-236.
- Thompson J.D., 2005. *Plant Evolution in the Mediterranean*. Oxford biology 304 p.