



**HAL**  
open science

# Simulation par Automate Cellulaire et Système Multi-Agents des conséquences du changement climatique sur l'aire de distribution de Pinus Cembra dans le Mercantour

Matthieu Vignal, Julien Andrieu

► **To cite this version:**

Matthieu Vignal, Julien Andrieu. Simulation par Automate Cellulaire et Système Multi-Agents des conséquences du changement climatique sur l'aire de distribution de Pinus Cembra dans le Mercantour. SAGEO'2016, Dec 2016, Nice, France. hal-01797857

**HAL Id: hal-01797857**

**<https://hal.science/hal-01797857v1>**

Submitted on 30 May 2018

**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.

# Simulation par Automate Cellulaire et Système Multi-Agents des conséquences du changement climatique sur l'aire de distribution de *Pinus Cembra* dans le Mercantour.

Matthieu VIGNAL<sup>1</sup> Julien ANDRIEU<sup>2</sup>

1. UMR ESPACE, Université Nice Sophia Antipolis  
98, bd E. Herriot, 06204 Nice Cedex  
matthieu.VIGNAL@unice.fr

2. UMR ESPACE, Université Nice Sophia Antipolis  
98, bd E. Herriot, 06204 Nice Cedex  
julien.ANDRIEU@unice.fr

---

*RESUME.* Le dernier rapport du GIEC fait état de nombreuses conséquences possibles sur la biodiversité terrestre induites par l'élévation des températures. Arbre symbolique de la haute montagne, *Pinus cembra* est l'une des espèces qui constitue la grande richesse spécifique des Alpes du Sud franco-italiennes. L'objectif de cette étude est de définir l'aire de distribution future de cette espèce végétale, préalable nécessaire à toute réflexion sur la mise en place de stratégies adaptatives permettant d'assurer le maintien de cette espèce et l'intégrité de son milieu face au changement climatique. La méthode élaborée permet, à partir de relevés d'espèces issus de la base de données SILENE, de campagnes de terrain et de descripteurs écologiques de spatialiser l'aire de distribution d'une espèce afin d'en étudier les changements et l'intégrer dans un modèle dynamique, dont l'objectif est de formaliser les modifications de la distribution végétale à travers la simulation des processus biologiques.

*ABSTRACT.* The last IPCC report presents numerous consequences of temperature elevations on terrestrial biodiversity. Mountain's symbol, *Pinus cembra* is one of the species that constitute the richness of South Franco-Italian Alps. The aim of this study is define the distribution area of this species, necessary prerequisite to any discussion of adaptive strategies for maintenance of this species and the integrity of its environment face to climate change. The method developed here enable, with botanical observation form SILENE database, field campaign and ecological descriptors to give a spatial definition of the distribution areas in order to begin the changes study and to integrate it in a dynamic model which aims to formalize the changes in distribution areas through the simulation of complex biological processes.

*MOTS-CLES :* Biogéographie ; Modélisation ; Changement climatique ; Aires de distribution.

*KEYWORDS:* Biogeography; Modeling; Climate Change; distribution areas.

---

SAGEO'2016 – Nice, 6-9 décembre 2016

## 1. Introduction.

Le changement climatique est l'une des causes probables de la réduction de la biodiversité. Aujourd'hui, l'évolution des températures, plus rapide que les précédents changements climatiques, pourrait entraîner l'extinction de nombreuses espèces, végétales ou animales. Les Alpes du Sud franco-italiennes se caractérisent par une diversité climatique et géologique, expliquant une grande richesse spécifique (Thompson, 2005). Parmi ces espèces, *Pinus cembra* est un arbre dont les caractéristiques, notamment la chorologie, constituent un défi intéressant pour la modélisation spatialement explicite. Lors des phases où le climat change, les espèces risquent de s'éteindre si leurs aires de distributions ne connaissent pas l'opportunité de trouver, en un autre lieu, les conditions écologiques qui leur sont favorables, d'atteindre celui-ci et de s'y implanter durablement (Alexandre et Genin, 2011). Il est donc aujourd'hui essentiel de définir l'emprise spatiale à l'horizon 2100 de cette espèce végétale montagnarde afin d'identifier les effets probables du changement climatique sur cette dernière. C'est un préalable nécessaire à toute réflexion sur la mise en place de stratégies adaptatives permettant d'assurer le maintien des espèces et l'intégrité de son milieu face au changement climatique. Actuellement, la plupart des modèles de prévision de l'impact du changement climatique sur la biodiversité n'appliquent que des règles climatiques génériques sur une « aire de distribution potentielle actuelle » pour délimiter des « aires de distributions potentielles futures » (Casazza, 2010). Or, ces aires de distributions potentielles futures sont biaisées puisqu'elles ne prennent pas en compte la capacité de propagation de l'espèce, de l'aire actuelle vers de nouveaux milieux, ni même les modalités de la mortalité sans régénération *in situ*. Cette prise en compte est un enjeu majeur, d'une part en écologie et d'autre part en géomatique. Ainsi, l'objectif de cette étude est de coupler la démarche naturaliste avec la démarche de modélisation. Il s'est agi, à travers la littérature et les campagnes de terrain, de récolter une quantité de données suffisante afin de mettre en place un outil de modélisation capable de simuler les processus biologiques des espèces végétales. L'objectif est de mettre en avant les effets probables du changement climatique sur l'aire de distribution de *Pinus cembra* en tenant compte de la compétition interspécifique. Une attention particulière sera portée sur la manière dont ce modèle permet de simuler le mode de dissémination de cette espèce ornithochore.

## 2. Données.

Les données concernant les caractères biologiques de cette espèce proviennent d'un ensemble d'ouvrages. Les relevés botaniques proviennent de la base de données SILENE Flore. Ils fournissent la base de connaissance ponctuelle des présences de l'espèce. Des variables écologiques climatiques (Martin et al, 2013) et météorologiques (Météo France, 2014) ; topographiques (IGN ; GN) et géologiques (OneGeology) ont été utilisées afin de permettre l'approche auto-écologique. Certaines sont converties en variables de conditions environnementales en entrée du modèle, notamment à travers un indice de viabilité permettant d'évaluer la probabilité du pixel à être colonisé par une espèce.

### 3. Méthode.

Afin de compléter les données issues de la littérature, des campagnes de terrain sont réalisées. Ces campagnes ont quatre objectifs. D'abord, constituer une base de relevés floristiques des sites étudiés afin, premièrement, de compléter et vérifier les données SILENE Flore, d'obtenir un site de « vérité terrain » où l'absence signifie bien l'absence d'individu et, de spatialiser une population au sein de l'aire de distribution. Ensuite, une pyramide des âges est réalisée afin de permettre prudemment la validation du modèle. Enfin, les observations de *Nucifraga caryocatactes* permettent de caractériser le comportement de cette espèce animale notamment de ces déplacements et des cachettes qu'ils constituent.

L'analyse fréquentielle permet de caractériser la distribution des espèces à travers la détermination des optimums et limites qui conditionnent la mortalité et la viabilité future d'individus en cas de dissémination d'une graine en un lieu. Dès lors, cela permet de spatialiser les aires de distribution des espèces par le seuillage d'une carte de probabilité d'occurrence des espèces. Cette chaîne de traitements produit l'état actuel des aires pour l'élaboration du modèle dynamique. Afin d'ajouter une dimension « population » à l'objet « aire de distribution actuelle », la densité d'individus est spatialisée par l'intermédiaire d'une méthode d'interpolation spatiale de type krigeage.

Afin de modéliser les aires de distribution futures, le modèle va se baser sur les processus qui régissent les dynamiques de population (cf. figure 1). Le modèle est spatialement explicite, c'est-à-dire que les données sont spatialisées (températures, indice de viabilité, etc.) ainsi que l'ensemble des processus biologiques. C'est un système multi-agents (SMA) qui comporte un automate cellulaire (AC). Il est composé de deux types d'entités : les pixels (200 mètres) qui représentent l'environnement, et les individus que sont les individus de *Pinus cembra*, les graines et les oiseaux. Les aires de distribution actuelles sont modifiées, au fil du changement climatique, à condition que les processus biotiques le permettent. Les processus de ce modèle s'enchaînent au fil des mois. Les individus aptes à produire des graines entament le processus de dissémination. Par la suite, les graines peuvent entamer ou peuvent ne pas entamer le processus de germination qui dépend de l'indice de viabilité *in situ*, de la viabilité des graines et de l'occupation du sol. Les dix premières années, la présence de l'espèce est soumise à la mortalité infantile en appliquant un seuil thermique.

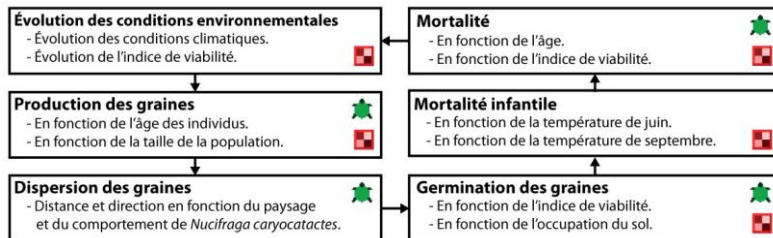


FIGURE 1. Diagramme d'activités du modèle.

SAGEO'2016 – Nice, 6-9 décembre 2016

#### 4. Résultats.

L'analyse de l'efficacité des descripteurs met en évidence que les descripteurs climatiques possèdent des efficacités bien plus importantes que les descripteurs topographiques ou géologiques. L'aire de distribution potentielle de *Pinus cembra* couvre, aujourd'hui, l'ensemble des versants de montagnes de 900 à 2800 mètres. Néanmoins, au sein de cette aire la densité d'individus n'est pas répartie uniformément. En paramétrant selon les connaissances actuelles de la biologie de cette espèce, le déplacement est possible et les pixels viables dans le futur semblent être colonisés. Le changement climatique permettrait à cette espèce de subsister dans de nombreux espaces. Dans un premier temps seront discutés les résultats des simulations sans la prise en compte de la compétition interspécifique et dans un deuxième temps, les résultats des simulations avec la prise en compte de la compétition interspécifique.

#### 5. Discussion et conclusion.

D'abord, les données en entrée sont à prendre avec un certain nombre de précautions. La base de données Silène présente des problèmes de représentativité. Les données climatiques présentent des marges d'erreur en particulier pour les pluies (Martin et al. 2013). Ensuite, les aires de distribution actuelles sont issues d'un traitement des données générant également une certaine marge d'erreur. Enfin, l'individu graine dans le modèle, bien que considéré comme telle, n'est pas un individu à part entière. Il serait particulièrement intéressant d'intégrer à chaque graine un comportement propre. En conclusion, les campagnes de terrain ont permis de confronter la littérature au terrain. Les affinités écologiques de l'espèce ont été déterminées par l'analyse statistique à travers la définition de l'optimum écologique et des limites de tolérances. La détermination de l'aire de distribution a permis de définir l'emprise spatiale de l'espèce. Afin de modéliser les aires de distribution futures, la production, la dispersion et la germination des graines, mais également la prise en compte de la mortalité ont été implémentés dans un système multi-agents. Le modèle fonctionne et permet d'engendrer des modifications qui s'approchent de celles exposées dans la littérature.

#### Bibliographie.

- Alexandre F. Génin A. (2011). *Géographie de la végétation terrestre ; Modèles hérités, perspectives, concepts et méthodes*, Edition Armand Collin.
- Casazza G. Zappa E. Mariotti M. G. Médail F. Minuto L. (2010). Distribution pattern and richness of endemic plant species in Maritime and Ligurian alps. *Boll. Mus. Ist. Biol. Unic*, n° 72, p. 130-136.
- Martin N. Carrega P. Adnes C. (2013). Downscaling statistique des températures et des précipitations 2071-2100 du modèle ALADIN-Climat pour les scénarios A1B, A2 et B1 dans les Alpes-Maritimes, *Colloque de l'Association Internationale de Climatologie 2013*, Benin.
- Thompson J. (2005). *Plant evolution in the Mediterranean*, Oxford university press.