



HAL
open science

Evolution de la composition des forêts du mont Ventoux au cours de la colonisation et de la maturation - une approche par modélisation

Philippe Dreyfus, Sylvie Oddou-Muratorio

► **To cite this version:**

Philippe Dreyfus, Sylvie Oddou-Muratorio. Evolution de la composition des forêts du mont Ventoux au cours de la colonisation et de la maturation - une approche par modélisation. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2020, 63-64, pp.19-22. hal-03281752

HAL Id: hal-03281752

<https://hal.inrae.fr/hal-03281752>

Submitted on 8 Jul 2021

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.

2. ÉVOLUTION DE LA COMPOSITION DES FORÊTS DU MONT VENTOUX AU COURS DE LA COLONISATION ET DE LA MATURATION - UNE APPROCHE PAR MODÉLISATION

Philippe Dreyfus^{(1) (2)}
Sylvie Oddou-Muratorio⁽¹⁾,

(1) INRAE, UR0629 Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM)

(2) ONF, pôle RDI d'Avignon

Comprendre la dynamique des forêts hétérogènes en termes de composition spécifique (mélanges d'espèces), de densité, de structure en âge (peuplements inéquiennes) et en dimensions des arbres, est un enjeu scientifique majeur pour envisager leur avenir et accompagner leur gestion. Les forêts du Ventoux sont un véritable laboratoire à ciel ouvert pour l'étude de ces dynamiques : plus d'un siècle après les chantiers de reboisement massifs dans le cadre des lois de « Restauration des Terrains en Montagne », ces forêts sont aujourd'hui constituées d'une mosaïque de vieilles plantations de pins, de peuplements feuillus (hêtre et, plus bas, chênes pubescent et vert), ou de sapin, de jeunes peuplements plus diversifiés (souvent mélangés et inéquiennes), et de quelques cédrails.

Les recherches de l'URFM visent à comprendre, caractériser la dynamique de certaines formations forestières du mont Ventoux et assembler ces connaissances dans un modèle permettant de simuler des évolutions futures en tenant compte des opérations sylvicoles et des choix d'aménagement.

« Ventoux », une variante de modèle de trouées* pour assembler les connaissances

Le modèle développé considère des individus distribués sur une grille de cellules, de 100 m² chacune. La dynamique du peuplement résulte des processus de recrutement, croissance et mortalité, et tient compte des propriétés des espèces, de la fertilité locale de la station, de la compétition avec les arbres voisins ou le couvert. Pour chaque processus, un sous-modèle synthétise les connaissances sur les processus écologiques en jeu :

- Le **recrutement** de nouveaux individus dans un peuplement forestier dépend de la configuration spatiale des arbres semenciers, de leur production de graines, de leur dispersion par divers agents, de leur germination et de l'installation des semis dans des conditions plus ou moins favorables. Ici, l'approche est simplifiée : on a modélisé une dispersion dite « efficace », sous forme de semis déjà installés (de hauteur entre 10 à 30 cm), en fonction de la distance aux peuplements semenciers, dont la contribution dépend de leur surface terrière et du diamètre moyen des arbres ; ce sous-modèle a été calibré sur des comptages issus de plus de 200 placettes.
- La **croissance** est représentée comme la résultante d'un « potentiel », fonction de l'espèce, de l'âge de l'arbre, et de l'indice de fertilité stationnelle, et d'une composante « de réduction » liée à la compétition locale entre arbres et à la taille relative de chaque individu. Deux sous-modèles, l'un pour les « adultes » (à partir de 5 m de hauteur), l'autre pour les semis, sont utilisés pour la croissance en diamètre et en hauteur (sans faire appel de manière explicite au fonctionnement écophysologique).
- La **mortalité** prise en compte est celle induite par la compétition (hors phénomènes d'attaque sanitaire, tempête, dépérissement ...).

Chaque sous-modèle est calibré à partir d'approches empiriques (inventaires répétés dans le temps sur un ensemble de placettes représentatif des formations étudiées, et suivis de croissance et mortalité sur des arbres et semis échantillons).

Le modèle est implémenté dans la plateforme de simulation **Capsis*** (module « Ventoux »). Le pas de simulation est de 5 ans, et des périodes jusqu'à 100 ans peuvent être simulées. Ce modèle repose sur une approche par « cohortes » : tous les arbres d'une espèce donnée établis au cours d'une année et sur une cellule données sont supposés être identiques et évoluer de la même manière ; la mortalité réduit l'effectif de chaque cohorte, jusqu'à ce qu'elle représente souvent un individu unique.

Pour lancer une simulation, des informations sur les peuplements et la forêt, ainsi que sur les conditions stationnelles, sont nécessaires. Ces informations sont généralement obtenues à partir de documents classiques de planification de la gestion forestière, par exemple les cartes des parcelles forestières et les tableaux synthétisant la composition des peuplements (espèces) et leur structure (futaie, taillis, âge moyen ou structure en âge), leur nombre de tiges/ha, hauteur maximale, âge dominant, surface terrière approximative, parfois avec subdivision en quelques strates (étage dominant, sous-étage, régénération). Les informations sur la régénération sont complétées, à l'initialisation, via des relations statistiques issues du panel de dispositifs décrits dans le cadre des recherches menées sur le massif.

Résultats : des dynamiques contrastées entre espèces

La calibration des processus de la dynamique forestière à partir des données recueillies révèle des différences nettes entre les espèces étudiées (sapin, hêtre, pins noir et sylvestre). Voici quelques-unes de ces différences :

- Des semis de sapin (en versant nord) ou de hêtre sont observés dans des parcelles situées à plus de 1000 m de tout peuplement de ces espèces, tandis que les semis de pins sont beaucoup moins abondants et sont presque absents en dehors des peuplements adultes de pins ou de grandes ouvertures ; ceci illustre les différences de capacités de migration.
- Les espèces à couvert sombre (sapin ou hêtre) ont un effet négatif sur la croissance en hauteur de leur propre régénération, et plus encore sur la survie des plantules de pins.
- Le taux de mortalité induit par la compétition diffère entre espèces, sapin ou hêtre étant nettement moins sensibles que les espèces de pins étudiées. Globalement, la probabilité de survie diminue avec la compétition, et augmente avec la hauteur locale relative des semis.

Simulations de la colonisation avec le modèle « Ventoux »

Le modèle « Ventoux » permet de simuler la dynamique de colonisation du sapin pectiné sous peuplement de pin sylvestre, à partir de semis issus d'un peuplement mature voisin (Fig. 2.1), une situation fréquente dans la zone d'étude.

Le modèle « Ventoux » peut aussi tenir compte de l'effet de conditions environnementales évoluant dans le temps. La figure 2.2 représente la dynamique des populations de sapin sur le Ventoux, simulée sous une des hypothèses de réchauffement du GIEC (scénario A1B). Ce changement climatique est traduit en termes de décalage des tranches altitudinales compatibles avec chacune des espèces, sur la base d'une équivalence entre l'altitude (variable de substitution) et la température en climat de référence, en intégrant les limites connues pour ces espèces. De plus, pour l'ensemble de la scène, la simulation actualise le potentiel de croissance de chaque espèce, en fonction de relations permettant d'estimer ce potentiel à partir des conditions environnementales locales, et notamment d'une altitude virtuelle qui décroît avec le réchauffement simulé. Dans cette simulation hors gestion, le développement (quantifié en terme de surface terrière) des peuplements de sapin pectiné augmente jusqu'en 2050, avec une expansion spatiale à la fois vers le bas et le haut du mont Ventoux, et une aire de présence maximale. Puis, l'importance du sapin pectiné se réduit, et il disparaît des altitudes les plus basses de son aire de 2050, tout en continuant de monter en altitude.

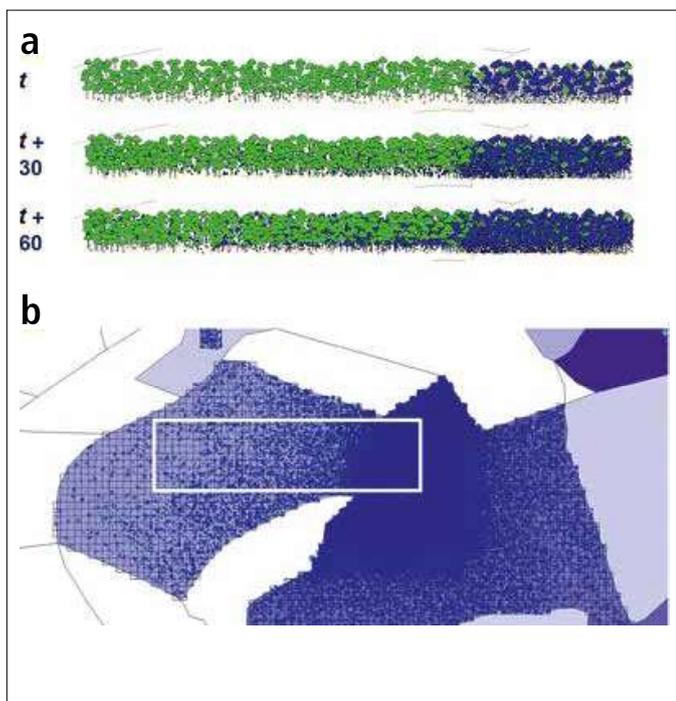


Figure 2.1. Simulation de la colonisation du sapin pectiné sous peuplement de pin.

a) Schémas d'un transect de 400 m de long montrant la propagation des semis et la croissance en hauteur du sapin (bleu foncé) dans un peuplement de pin (vert clair) au voisinage d'un peuplement mature de sapin, aux temps t , $t + 30$ ans, $t + 60$ ans.

b) Carte à $t + 60$ ans : le rectangle blanc correspond au transect précédent et les pins sont masqués afin de montrer la progression du sapin (N.B. : la grille est composée de cellules de 10 m de côté).

Simulation des effets de la gestion

Le modèle « Ventoux » peut aussi être utilisé pour simuler l'influence de divers scénarios de gestion sylvicole sur la dynamique. Nous avons ainsi étudié la dynamique du hêtre et des pins en réponse à des régimes d'éclaircie variables (rythme des éclaircies et surface terrière post-éclaircie). Aux altitudes les plus élevées de la zone considérée, les conditions sont plus favorables au hêtre et sa progression est forte quelle que soit la gestion (Fig. 2.3). Dans la partie sud-ouest du massif, d'altitude moins favorable au hêtre, sa progression pourrait en revanche être freinée si la gestion maintient un couvert modéré (surfaces terrières plus faibles) propice à un développement dynamique des régénérations de pins.

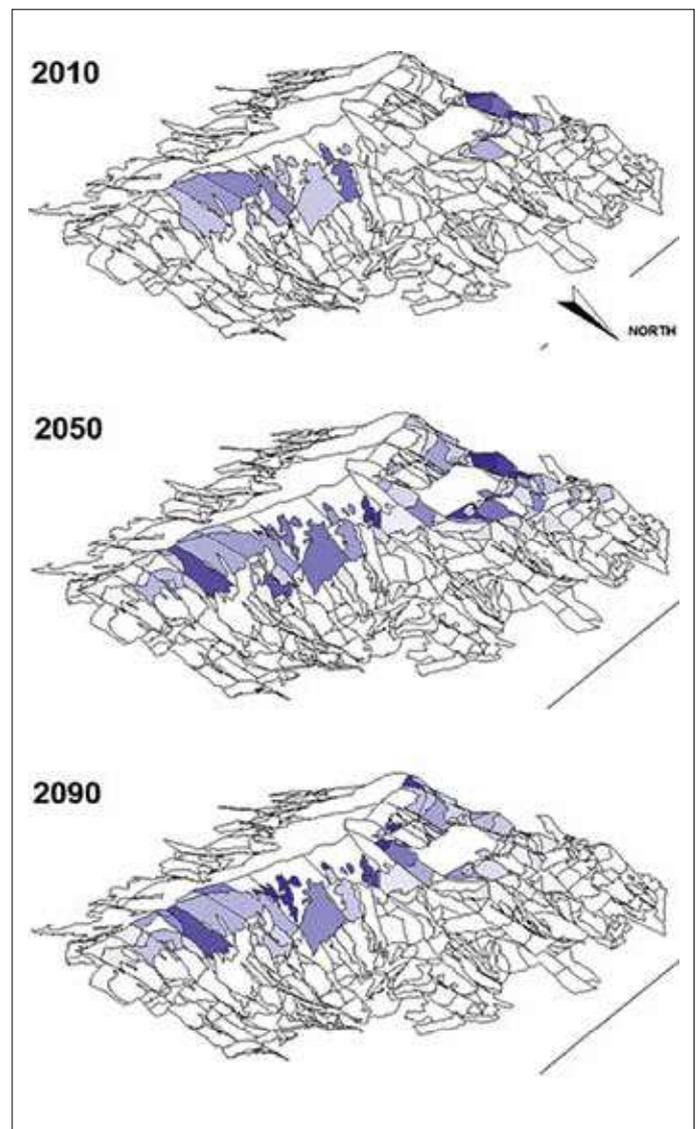


Figure 2.2. Évolution simulée du sapin pectiné, de 2010 à 2050 et jusqu'en 2090 sur le versant nord du mont Ventoux, pour le scénario A1B du GIEC.

Sur ces diagrammes en 3D, la surface terrière des peuplements de sapin pectiné est indiquée par le niveau de couleur (blanc = pas de sapin ; bleu foncé = sapin presque pur) ; les autres espèces ne sont pas montrées. Les grandes zones blanches près de la crête représentent des pierriers où la forêt a peu de chances de progresser. Elles ne sont pas prises en compte dans la simulation. La scène entière couvre $\sim 8 \text{ km} \times 5 \text{ km}$.

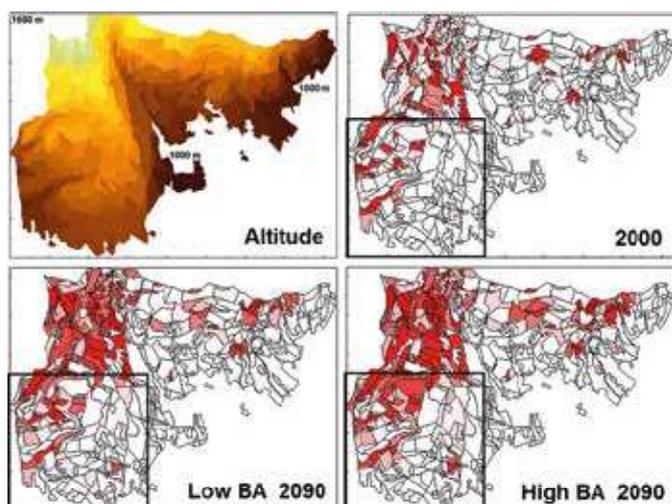


Figure 2.3. Évolution simulée du hêtre, de 2000 à 2090 en climat stationnaire, sur la partie est du versant sud du Ventoux

La présence du hêtre est indiquée par le niveau de couleur (blanc = pas de hêtre ; rouge vif = hêtre presque pur ; les pins – noir, sylvestre, ou à crochets – sont masqués). La gestion simulée vise à maintenir la surface terrière du peuplement soit entre 30 et 48 m²/ha (option « High BA »), soit entre 13 et 20 m²/ha avec davantage d'éclaircies (option « Low BA »). Le cadre carré indique la région où l'option « Low BA » freine la dynamique du hêtre (en favorisant celle du pin, en place). La scène entière couvre ~ 8 km × 6 km, avec une altitude entre 1000 m et 1600 m.

Messages pour les gestionnaires

- Le modèle « Ventoux » est un outil de choix pour simuler des pratiques sylvicoles à l'échelle de l'arbre et du peuplement, et pour simuler l'effet de changements environnementaux à des échelles allant de celle du peuplement au massif. Au-delà du Ventoux il pourrait être utilisé pour autres peuplements mélangés, sous réserve de disposer des jeux de données nécessaires à sa calibration (sur les processus de recrutement, croissance et mortalité, et conditions stationnelles).
- Il permet notamment de simuler conjointement l'effet de changements environnementaux et de pratiques de gestion, afin d'imaginer des stratégies sylvicoles susceptibles de ralentir le déclin d'une espèce sur le territoire considéré, ou visant à favoriser l'expansion de certaines autres, selon les conditions stationnelles, notamment d'altitude et d'exposition, de climat.
- Un défi majeur réside dans l'initialisation de ces simulations, qui requièrent des données d'inventaire assez précises (peuplement, arbres, conditions de station) ; des simulations réalistes à l'échelle du massif nécessitent d'acquérir un grand nombre de données de terrain, en s'appuyant sur des descriptions de structures forestières à large d'échelle, et sur des techniques parcimonieuses d'inventaire de la régénération et de la compétition.

*Définitions

Modèles de trouées : Dans leur forme la plus classique, les modèles de trouées (gap models) décrivent l'évolution de forêts mélangées sur la base de processus démographiques et d'un fonctionnement écophysique simplifié : croissance, mortalité, renouvellement par trouées des peuplements. Capacités de régénération et longévité des espèces déterminent en grande partie les évolutions de composition spécifique (« successions »), souvent sans prendre en compte l'influence des modes de gestion.

Capsis est un logiciel dédié à la simulation de l'évolution de peuplements forestiers en lien avec leur gestion (INRA, <http://www.inra.fr/capsis>). Cette plateforme logicielle, en développement continu, offre un environnement de simulation commun pour des modèles de croissance et de dynamique forestière variés, mis au point dans divers organismes de recherche.

Pour en savoir plus...

Amm A., 2011. Potentialité de migration des essences forestières et changements climatiques. Thèse de doctorat en sciences, Université Aix-Marseille 3.

Dreyfus, P. 2012. Joint simulation of stand dynamics and landscape evolution using a tree-level model for mixed uneven-aged forests. *Annals of Forest Science*, 69(2), 283–303. doi:10.1007/s13595-011-0163-2

3. LES EFFETS DES SÉCHERESSES ET DE LA SYLVICULTURE SUR LA CROISSANCE DES SAPINS, HÊTRES ET CÈDRES AU MONT VENTOUX

Hendrik Davi, François Courbet, Christian Pichot, William Brunetto, Florence Jean, Arnaud Jouineau, Nicolas Mariotte

INRAE, UR629 Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM)

Dans les forêts de montagne, la croissance est limitée à haute altitude par les faibles températures, mais, en région méditerranéenne la sécheresse et les fortes températures constituent aussi un facteur limitant, cette fois-ci à basse altitude. Par ailleurs, peu d'études ont explicitement étudié les effets à court terme (annuel) et à long terme (décennal) de l'interaction entre la sylviculture et les conditions climatiques sur la croissance des arbres. Nos études sur le Ventoux ont permis d'aborder ces questions, car ce massif sous influence du climat méditerranéen présente des gradients climatiques importants avec l'altitude.

Effet du stress hydrique et de l'altitude sur la croissance de sapins et des hêtres

Au Ventoux, sur un gradient altitudinal continu et de même exposition où 73 sapins et 77 hêtres ont été carottés, les cernes de croissance ont été analysés afin de déterminer les relations entre croissance et climat depuis 1964. Nous avons montré que l'accroissement radial du sapin est plus sensible au stress hydrique édaphique estival, alors que

l'accroissement radial du hêtre est sensible aux mois d'avril trop doux qui causent un débourrement plus précoce, et le rendent vulnérable aux gelées tardives (voir le Chapitre 5). La croissance moyenne du hêtre diminue avec l'altitude, alors que l'optimum de croissance du sapin se situe à une altitude intermédiaire (Fig. 3.1).

Une seconde étude a reposé sur l'analyse de carottes prélevées sur 129 sapins (88 sur le mont Ventoux et 41 en forêt domaniale de l'Issole dans les Alpes-de-Haute-Provence). Les résultats confirment la forte sensibilité de l'accroissement radial du sapin aux sécheresses estivales et mettent en évidence l'effet favorable des fins d'hiver doux et des printemps chauds et bien arrosés (Fig. 3.2). Le récent réchauffement a provoqué un déplacement de ces optimums vers les hautes altitudes depuis 2000 (histogramme gris sur la figure 3.1). Ces résultats suggèrent qu'une dissociation des niches du sapin et du hêtre est possible, car le hêtre ne peut monter trop haut à cause des gelées tardives. Les résultats de cette analyse sont par ailleurs cohérents avec le fait que le dépérissement des sapinières qui sévit dans les Alpes du Sud et les Pyrénées orientales est beaucoup plus fort à basse altitude.

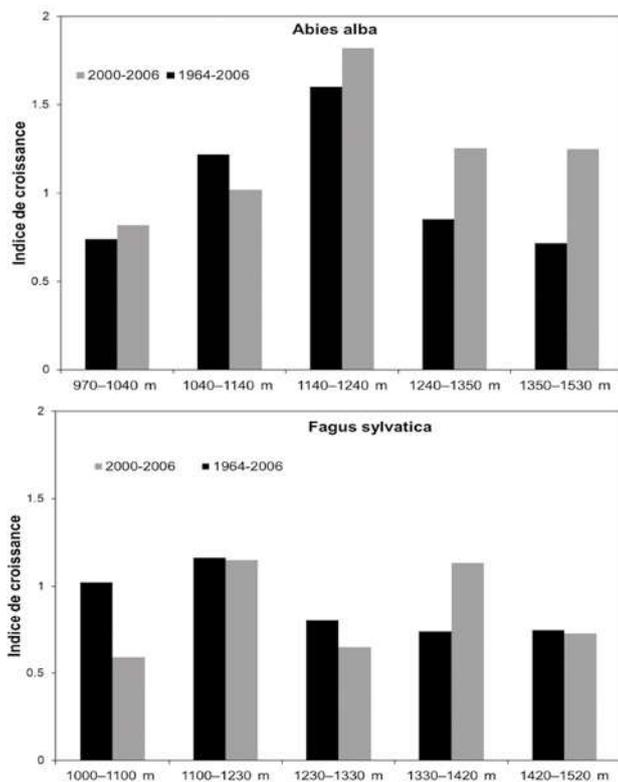


Figure 3.1. Effet de l'altitude sur l'indice de croissance annuelle moyenne pour le sapin (*Abies alba*) et le hêtre (*Fagus sylvatica*) entre 1964 et 2006 (barres noires) et entre 2000 et 2006 (barres grises).

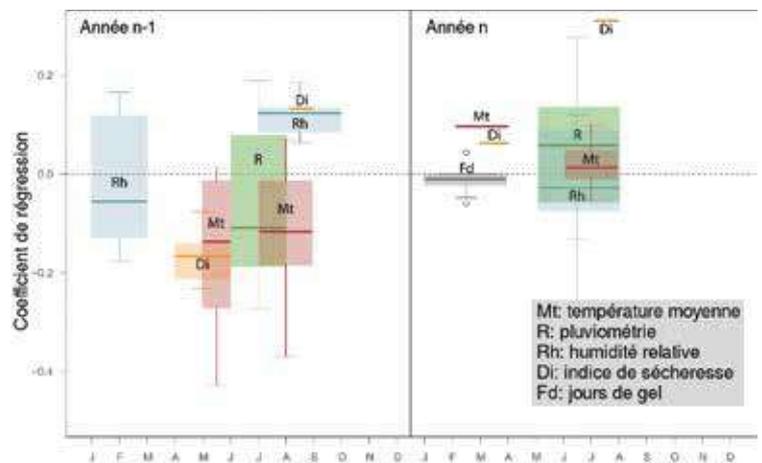


Figure 3.2. Corrélations entre la croissance radiale du sapin (de l'année n) et 14 variables climatiques mesurées sur 2 ans (années n et n-1).

Les variables climatiques sont la température moyenne (Mt), les précipitations (R), l'humidité relative (Rh), l'indice de sécheresse (Di) et le nombre de jours de gelées tardives (Fd), respectivement sur 4, 2, 3, 4 et 1 périodes. Les coefficients de régression figurent sur l'échelle des ordonnées, soit sous forme d'un trait horizontal soit sous celle d'une boîte à moustache lorsque qu'ils varient selon l'altitude. Des coefficients négatifs traduisent un effet défavorable de la variable climatique sur la croissance (par exemple pour le coefficient de sécheresse Di d'avril à juin de l'année n-1). Des coefficients positifs traduisent un effet favorable de la variable climatique sur la croissance (par exemple pour les températures de février-mars de l'année n).