



HAL
open science

Capacités de migration des arbres forestiers en montagne - la dispersion du pollen et des graines de Sapin, de Hêtre et de Cèdre sur le mont Ventoux

Sylvie Oddou-Muratorio, Annabelle Amm, Aurore Bontemps, Bruno Fady, Julie Gaüzere, Etienne K. Klein, Francois Lefèvre, Christian Pichot, Gwendal Restoux, Olivier Gilg, et al.

► To cite this version:

Sylvie Oddou-Muratorio, Annabelle Amm, Aurore Bontemps, Bruno Fady, Julie Gaüzere, et al.. Capacités de migration des arbres forestiers en montagne - la dispersion du pollen et des graines de Sapin, de Hêtre et de Cèdre sur le mont Ventoux. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2020, 63-64, pp.40-45. hal-03281778

HAL Id: hal-03281778

<https://hal.inrae.fr/hal-03281778v1>

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.

8. CAPACITÉS DE MIGRATION DES ARBRES FORESTIERS EN MONTAGNE - LA DISPERSION DU POLLEN ET DES GRAINES DE SAPIN, DE HÊTRE ET DE CÈDRE SUR LE MONT VENTOUX

L'étude de la capacité des arbres à disperser leur pollen et leurs graines et plus généralement des modalités selon lesquelles les individus se reproduisent (le **régime de reproduction***) revêt un intérêt particulier dans le contexte actuel des changements climatiques et globaux. D'une part, la **dispersion des graines** est une **étape clé du processus** de migration qui permet aux populations de suivre le déplacement dans l'espace de leur optimum bioclimatique, sans avoir à s'adapter. Par ailleurs, le **régime de reproduction** au sens large joue sur les niveaux de **dérive génétique*** et de **consanguinité*** entre descendants et, par le biais de la dépression de consanguinité*, sur les capacités de régénération naturelle des forêts. En outre, la dispersion du pollen a aussi des impacts démographiques quand la limitation pollinique réduit le nombre de graines produites. Enfin, en permettant le **transfert de gènes entre populations**, la dispersion du pollen et des graines alimente la diversité génétique disponible pour la sélection à l'intérieur des populations ; en interaction avec la sélection, la dispersion détermine ainsi la capacité des populations à s'adapter sur place aux conditions locales de la station (Chapitre 9).

Nos travaux ont permis d'estimer les capacités de dispersion et le régime de reproduction du hêtre commun, du sapin pectiné et du cèdre de l'Atlas, et d'en caractériser les conséquences sur la dynamique des peuplements du mont Ventoux.

Le pollen est dispersé en moyenne sur quelques dizaines de mètres chez le hêtre et le sapin

La dispersion du pollen et le régime de reproduction ont été estimés par des analyses de paternité à l'aide de marqueurs moléculaires, une approche similaire à celle des empreintes ADN utilisée chez l'homme par la police scientifique. Ces estimations se sont appuyées sur plusieurs placettes de hêtre et de sapin sur le versant Nord du mont Ventoux (Bontemps 2012, Gaüzère 2014 et Restoux 2009). Le pollen est dispersé à une distance moyenne de **45 m chez le hêtre et de 32 m chez le sapin**, ce qui est faible en comparaison avec d'autres espèces anémophiles (dont le pollen est dispersé par le vent). Néanmoins, il ne faut pas négliger les événements rares de dispersion du pollen à longue distance. Enfin, les capacités de dispersion du pollen varient peu entre placettes, que ce soit pour le hêtre ou le sapin.

Sylvie Oddou-Muratorio⁽¹⁾, Annabelle Amm⁽¹⁾, Aurore Bontemps⁽¹⁾, Bruno Fady⁽¹⁾, Julie Gaüzère⁽¹⁾, Etienne Klein⁽¹⁾, François Lefèvre⁽¹⁾, Christian Pichot⁽¹⁾, Gwendal Restoux⁽¹⁾⁽³⁾, Marianne Corréard⁽²⁾, Olivier Gilg⁽²⁾, Frédéric Jean⁽¹⁾, Bruno Jouaud⁽¹⁾⁽⁴⁾, Matthieu Lingrand⁽¹⁾, Mehdi Pringarbe⁽²⁾, Frank Rei⁽²⁾, Anne Roig⁽¹⁾, Jean Thevenet⁽²⁾, Norbert Turion⁽²⁾.

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

(2) INRAE, UE0348 Entomologie et Forêt Méditerranéenne (UEFM)

(3) INRAE - AgroParisTech, UMR 1313 GABI Génétique Animale et Biologie Intégrative

(4) INRAE - UAPV (Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse), UMR 1114 EMMAH

La proportion de descendants issus d'autofécondation* varie entre espèces et individus

Dans des lots de graines récoltés sur des arbres-mères de différentes placettes, la proportion de **graines autofécondées*** est faible chez le hêtre (6.6 % en moyenne), intermédiaire chez le cèdre (9.5 % en moyenne) et plus élevée chez le sapin (20 % en moyenne). Cette proportion varie en outre fortement entre arbres-mères : entre 0 % et 71 % chez le hêtre, entre 0 et 48 % chez le cèdre, et entre 5 % à 73 % chez le sapin. Notez que pour le cèdre, ce sont des placettes du massif du Lubéron qui ont été étudiées. Des études pluriannuelles chez le sapin montrent que la proportion de graines autofécondées varie aussi selon les années pour un même arbre-mère. Cette variabilité entre individus et entre années des taux d'autofécondation s'explique par les variations locales de la densité des arbres voisins et/ou de leur production de pollen.

Dans le cas du sapin, nous avons pu montrer que les graines issues des arbres-mères les plus autofécondés ont des capacités de germination globalement réduites, du fait de la **dépression de consanguinité***. Cependant, cette dépression de consanguinité n'a pas seulement des effets négatifs : la purge du **fardeau génétique*** ainsi effectuée permettrait aux populations les moins denses d'avoir une meilleure survie au stade semis. Chez le cèdre, la capacité de germination des graines **auto- ou allo-fécondées*** est globalement élevée, mais au sein d'une même famille, les semis issus de graines autofécondées montrent une réduction en hauteur (8 %) et en diamètre (6 %) par rapport à ceux des graines allofécondées, ce qui traduit l'existence d'une dépression de consanguinité faible mais significative. En outre, comme les performances de croissance varient aussi entre familles, les semis autofécondés issus de « bonnes familles » peuvent avoir de meilleures performances que les semis allofécondés issus de « mauvaises familles ». Finalement, même dans une parcelle très en avant sur le front de colonisation, où on pourrait attendre une forte auto-fécondation, on ne trouve que 6% d'arbres issus d'autofécondation parmi les jeunes adultes.

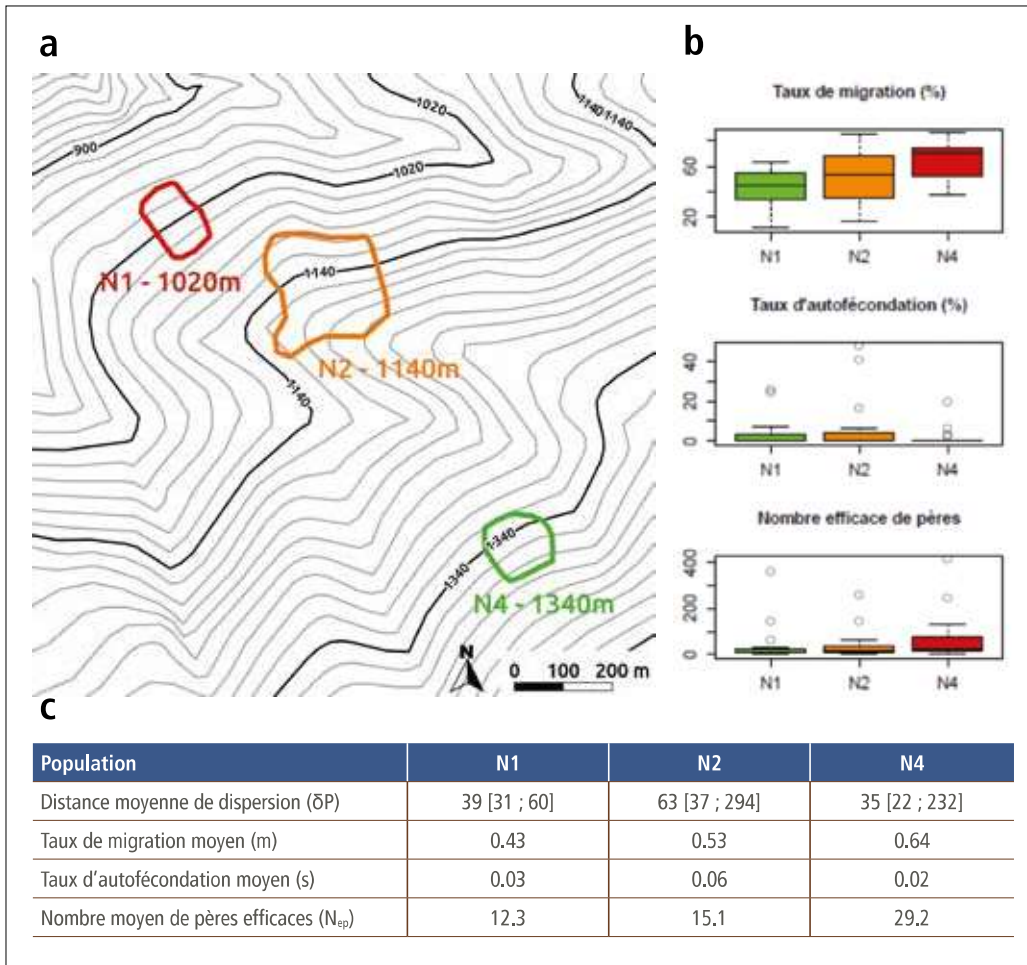


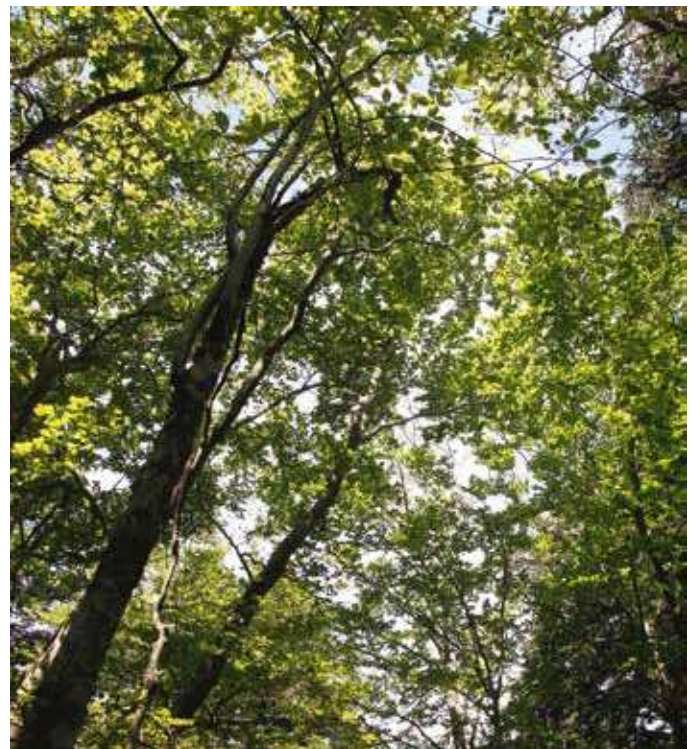
Figure 8.1. Dispersion du pollen de hêtre et variation du régime de reproduction entre populations le long du gradient Nord

(A) Dans trois populations le long du gradient Nord (N1, N2, N4), tous les hêtres adultes (N1 : 137 ; N2 : 170 et N4 : 194) ont été cartographiés et génotypés avec 13 marqueurs microsatellites. Sur 60 arbres mères (20 dans chaque population), un total de 1378 graines ont été récoltées et génotypées.

(B, C) Nous avons estimé les taux de migration (m) et d'autofécondation (s), la distance moyenne de dispersion du pollen (δP), et le nombre de pères efficaces (N_{ep}). Entre arbres, s varie entre 0 % et 48 %, m varie de 12 % à 86 % et N_{ep} de 2 à 364 individus. La population N4 montre un plus fort taux de migration, un plus faible taux d'autofécondation et un nombre de pères efficaces plus élevé que les deux populations N1 et N2.

Des flux de pollen préférentiels des basses vers les hautes altitudes chez le hêtre

Les analyses de paternité révèlent aussi qu'une proportion généralement élevée du pollen fécondant les arbres-mères d'une placette donnée est issue de pères extérieurs à la placette ; on parle de migration pollinique. La comparaison des taux de migration pollinique entre populations de hêtre met en évidence un effet majeur de la phénologie reproductive (la date de floraison, pollinisation...) sur l'intensité et la direction des flux de pollen le long du gradient altitudinal étudié (voir Fig. 8.1). La population de haute altitude présente un taux de migration plus fort (64 % dans la population N4) que les populations de basses altitudes (43 % dans la population N1, 53 % dans la population N2). Ces variations s'expliquent par la combinaison de deux phénomènes. D'abord, les populations de basse altitude fleurissent plus tôt que celles de haute altitude. Ensuite, chez le hêtre, les fleurs femelles sont réceptives en moyenne 5 jours avant l'émission de pollen par les anthères (un phénomène appelé protogynie). La protogynie induit un flux de gènes directionnel des populations de basses altitudes vers celles de haute altitude, et pourrait ainsi faciliter la réponse adaptative en injectant à haute altitude des gènes pré-adaptés à des températures plus chaudes.



Population N4 : hêtre.

© Hendrik Davi, INRA

Les graines sont dispersées surtout à courte distance

La distance de dispersion des graines a été caractérisée par trois approches différentes selon les espèces :

1. le **comptage** des graines dispersées et des semis établis (sapin et hêtre, Sagnard 2001 et Amm 2011),
2. des **analyses de parenté** sur des semis établis avec des marqueurs génétiques (hêtre et sapin, Bontemps 2012 et Amm 2011),
3. le couplage d'analyses de parentés avec des **modèles de dispersion spatio-temporelle** (cèdre).

Chez le sapin et le hêtre, la dispersion des graines apparaît très limitée. Avec l'approche par comptage la distance médiane de dispersion des graines varie entre 13,2 et 19,2 m pour le sapin selon l'année et elle est de 6,49 m pour le hêtre. En outre, une étude plus détaillée sur le sapin montre que la mortalité au cours du recrutement élimine préférentiellement les semis issus de graines dispersées à courte distance, augmentant ainsi la distance entre un arbre-mère et ses descendants au cours du recrutement. L'approche par analyses de parenté confirme la dispersion limitée des graines chez le sapin (distance moyenne entre 20 et 30 m selon les sites) et chez le hêtre (distance moyenne entre 15 et 18 m selon

les sites). Comme pour le pollen, les événements rares de dispersion à longue distance ne peuvent cependant pas être négligés.

Chez le cèdre, a contrario, les résultats actuels pointent une distance moyenne dispersion des graines plus importante (plutôt de l'ordre de 200 m), retrouvée à la fois à l'échelle de toute la zone de colonisation sur le Ventoux et à l'intérieur de parcelles du Luberon et du Ventoux. Une forte anisotropie de la dispersion est également constatée. Ces caractéristiques pourraient être expliquées par la dynamique de colonisation en milieu semi-ouvert qui a conduit aux peuplements actuels.

Les capacités de migration varient entre espèces

Autochtone sur le Ventoux, le hêtre a vu sa surface grandement réduite sous l'effet des activités humaines, avec une réduction maximale de sa distribution aux alentours de 1860. Nous avons estimé rétrospectivement les variations d'effectifs et les vitesses de migration du hêtre au cours des siècles derniers en combinant des approches historiques (archives ONF) et génétiques (Fig. 8.2, Lander *et al.*, 2011). En 150 ans, la hêtraie a connu une expansion en surface de 65 %, à un rythme annuel de 27-38 m/an. Une partie de l'expansion de la hêtraie est liée aux plantations effectuées dans le cadre de la restauration des terrains de montagne (RTM), qui ont été faites pour le hêtre à partir de ressources locales. Néanmoins, nos analyses génétiques suggèrent que certains peuplements sont issus

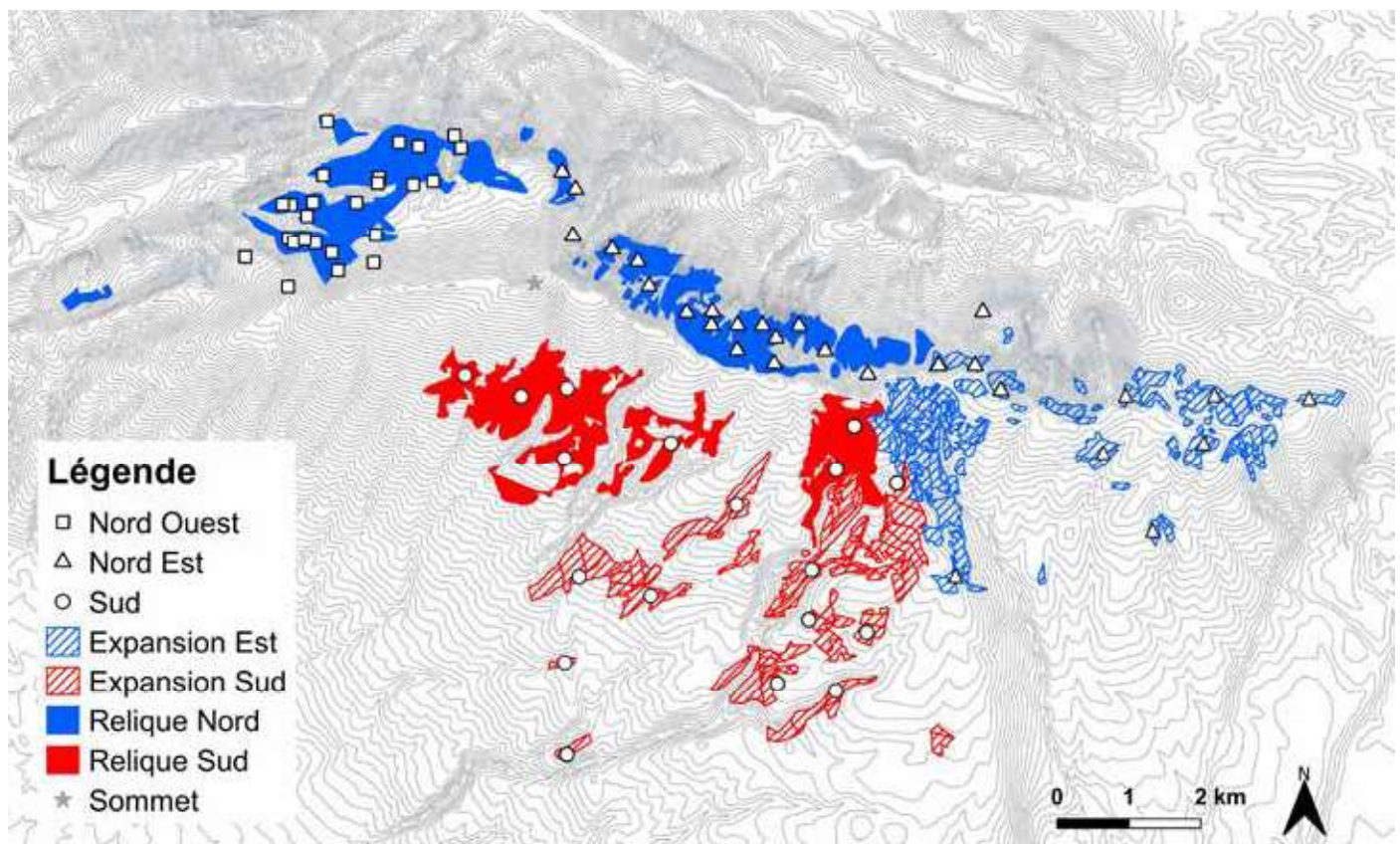


Figure 8.2. Histoire récente des populations de hêtre du mont Ventoux

Le mont Ventoux est situé au sud de l'aire de distribution du hêtre. Un réseau de 71 placettes (~2300 arbres) a été installé sur les faces Nord (bleu) et Sud (rouge). L'étude des archives forestières depuis 1838 a permis d'identifier : les zones reliques où le hêtre a toujours été présent (depuis 1845 ou plus) ; des zones d'expansion récentes au Sud et à l'Est ; des zones (non figurées) où le hêtre a disparu (à l'Ouest). L'analyse de ces données montre qu'en 150 ans, la hêtraie a connu une expansion en surface de 65 %, à un rythme annuel de 27-38 m/an.

de la colonisation naturelle par le hêtre de nouveaux sites le long des voies d'expansion au Sud et à l'Est. Le rythme de l'expansion est par ailleurs compatible avec la distance moyenne de dispersion des graines estimée dans les populations actuelles (~20 m). Ainsi, en montagne, si les températures continuent à se déplacer au rythme actuel de 10 m/an (soit environ 4 m en altitude pour une pente de 25°), le hêtre pourrait coloniser d'autres habitats devenus favorables. Par ailleurs, les variations d'effectifs (que ce soit durant la dernière glaciation ou lors des déboisements récents) n'ont pas réduit sensiblement la diversité génétique des hêtres du Ventoux.

Le cèdre de l'Atlas a été introduit sur le versant sud du mont Ventoux en 1860 dans le cadre de programmes de reboisement, transférés d'Algérie et du Maroc. L'espèce, bien adaptée à ce nouvel environnement, s'est rapidement propagée au sein des taillis de chênes. L'utilisation conjointe de trois photos aériennes (1973, 1996 et 2009), de mesures et comptages in situ, et d'approches génétiques nous a permis de documenter précisément cette dynamique de colonisation sur 50 ans. L'expansion du cèdre s'est principalement déroulée du nord-ouest vers le sud-est, selon la direction des principaux vents d'hiver dans la région. Mais cette direction d'expansion correspond aussi à un déplacement vers des altitudes plus basses, ce qui pourrait augmenter à terme la vulnérabilité des peuplements.

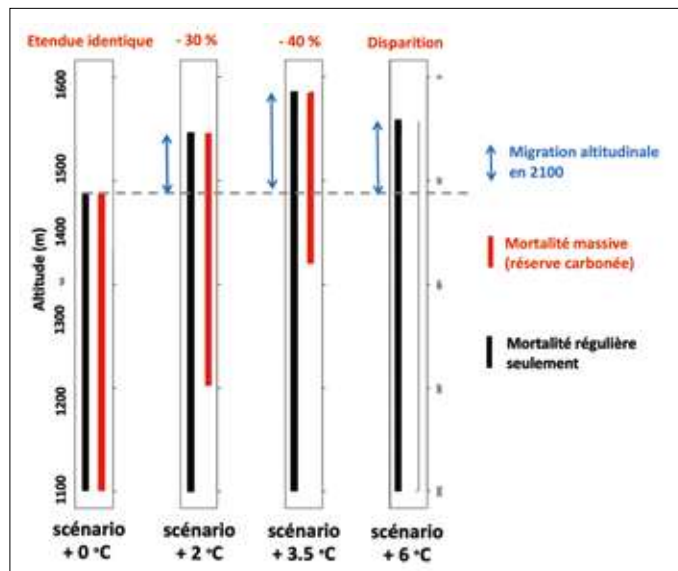


Figure 8.3. Prédiction de l'étendue altitudinale du sapin en réponse au changement climatique en 2100 (tiré de Amm 2011)

Ces prédictions sont basées sur un modèle de simulation individu-centré qui tient compte des capacités de production et de dispersion des graines, ainsi que de l'effet de la température sur la capacité de recrutement des semis. Quatre scénarios climatiques ont été étudiés (+0°C ; +2°C ; +3.5°C et +6°C), et pour chacun, deux modèles de mortalité ont été considérés : un modèle optimiste (en noir), où seule la mortalité régulière par compétition et recrutement est prise en compte, et un modèle plus réaliste (mortalité massive, en rouge) où l'augmentation des températures joue en plus sur les réserves carbonées disponibles pour chaque individu.

Sur chacun des quatre panneaux, la longueur de la barre (noir ou rouge) donne l'étendue altitudinale du sapin, et la flèche bleue montre la remontée en altitude.

Nos résultats montrent aussi l'absence de différenciation génétique le long du front de colonisation, suggérant que la longue phase juvénile du cèdre maximise le brassage génétique au cours de la colonisation, et limite la dérive génétique.

Enfin, nous avons paramétré sur la plateforme Capsis un modèle spécifiquement dédié à la simulation de l'étendue altitudinale de la distribution du sapin sur le Ventoux sous l'effet de la migration et sous différents scénarios d'augmentation des températures. Ce modèle montre que le sapin migre à une vitesse de l'ordre de 1 m/an (en distance réelle sur une pente de 25°) pour une augmentation de 2 °C, de 3,5 °C ou de 6 °C, alors que le climat se déplacerait à une vitesse de l'ordre de 10 m/an pour une augmentation de la température de 3,5 °C et de 20 m/an pour une augmentation de 6 °C. La vitesse de colonisation étant plus faible que la vitesse d'extinction, l'étendue altitudinale du sapin se réduit de 30 % si la température augmente de 2 °C et de 40 % pour 3,5 °C ; le sapin disparaît pour une augmentation de 6 °C (Fig. 8.3).

Nos résultats corroborent donc l'idée de plus en plus répandue dans la communauté scientifique que seule une faible minorité d'espèces ont des vitesses de migration suffisantes pour suivre la rapidité du déplacement de leur aire bioclimatique.

Messages pour les gestionnaires

- La gestion doit conserver quand c'est possible (notamment, hors contexte de danger) certains peuplements de hêtre aux altitudes les plus basses (900 m en versant Nord) jusqu'à la mort naturelle des individus, pour favoriser les flux de gènes du bas vers le haut du massif. Les peuplements/individus les plus dépérissants doivent être récoltés en priorité.
- Pour pallier la mortalité attendue du sapin et aussi du hêtre à basse altitude, la gestion peut favoriser leur remontée en altitude dans les habitats forestiers existants (les peuplements de pin à crochet). Il s'agit de favoriser la régénération de ces différentes espèces en jouant sur la taille des trouées, et de suivre le devenir de la régénération naturelle.
- Il est probable que les cortèges faunistiques et floristiques associés à ces espèces bénéficieraient aussi d'une remontée en altitude. En l'état actuel des réglementations, les mesures de remontée en altitude, favorable à certaines espèces, peuvent finir par se heurter à d'autres mesures de conservation, par exemple celle du pierrier sommital du Ventoux (habitat protégé au titre de Natura 2000).
- Pour le cèdre qui, sur le versant sud du Ventoux, migre spontanément vers le sud-est et les basses altitudes à cause du vent, des mesures de plantation ou d'installation d'îlots fondateurs (au sens littéral de la migration assistée) en altitude pourraient être envisagées pour profiter du potentiel de cette espèce sur un étage bioclimatique qui lui sera plus favorable sur le long terme.

*Définitions

Le **régime de reproduction** décrit les modalités selon lesquelles les individus se reproduisent au sein d'une espèce ou une population donnée. Dans son sens le plus large chez les plantes, cela inclut notamment le sex-ratio (les fréquences relatives des différents sexes : mâles, femelles, hermaphrodites), la proportion **d'autofécondation** (pollinisation de l'ovule d'un individu par son propre pollen) ou **d'allofécondation** (pollinisation de l'ovule d'un individu par le pollen d'un autre individu), le pourcentage de dispersion de pollen à longue distance et les variations de fécondité entre individus.

La **migration** des populations inclut différents processus depuis la formation, la maturation, la dispersion et la germination des graines, jusqu'à l'établissement des semis, voire leur passage à l'âge adulte.

La **dérive génétique** est la modification de la fréquence des génotypes au sein d'une population causée par des phénomènes aléatoires.

La **consanguinité** est le résultat de la reproduction entre deux individus apparentés c'est à dire ayant un ou plusieurs ancêtres communs. Chez les espèces allogames, la consanguinité a globalement pour effet de réduire la valeur adaptative des individus/populations concerné(e)s.

La **dépression de consanguinité** est la différence entre valeur adaptative d'un individu consanguin et celle d'un individu issu d'un croisement aléatoire.

Le **fardeau génétique** désigne l'ensemble des mutations défavorables au sein d'une population.



© Hendrik Davi, INRA

Pour en savoir plus...

Amm A., Pichot C., Dreyfus P., Davi H., Fady B., 2012. Improving the estimation of landscape scale seed dispersal by integrating seedling recruitment. *Annals of Forest Science* 69: 845–856

Amm A., 2011. « Contribution à l'estimation des potentialités de migration des essences forestières face au changement climatique : Le cas du sapin pectiné (*Abies alba* Miller) sur le Mont Ventoux. ». Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne - Aix-Marseille III

Bontemps A. 2012. Potentiel évolutif d'une population de Hêtre commun sur le Mont Ventoux. Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne - Aix-Marseille III

Bontemps A., Klein E.K., Oddou-Muratorio S., 2013. Shift of spatial patterns during early recruitment in *Fagus sylvatica*: Evidence from seed dispersal estimates based on genotypic data. *Forest Ecology and Management* 305: 67–76

Gaüzère J., 2014. Effet de la dispersion pollinique à longue distance sur les capacités d'adaptation de populations de Hêtre commun le long d'un gradient altitudinal. Thèse de doctorat Université Montpellier II

Gauzère J., Klein E.K., Oddou-Muratorio S., 2013. Ecological determinants of mating system within and between three *Fagus sylvatica* populations along an elevational gradient. *Molecular Ecology* 22: 5001–5015

Lander T.A., Oddou-Muratorio S., Prouillet-Leplat H., Klein E.K., 2011. Reconstruction of a beech population bottleneck using archival demographic information and Bayesian analysis of genetic data. *Molecular Ecology* 20: 5182–5196

Restoux G., 2009. « Variabilité spatio-temporelle de la reproduction chez une espèce pérenne monoïque: Le cas du sapin pectiné, *Abies alba* Miller, en limite sud de son aire de répartition. ». Thèse de L'université Paul Cézanne - Aix-Marseille III

Sagnard F., 2001. Dynamique de recolonisation des pinèdes pionnières par la hêtraie-sapinière: Etude de la structure des peuplements forestiers et de l'évolution génétique des populations de sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) sur le Mont Ventoux. Thèse de doctorat en sciences, Université Aix – Marseille III

Sagnard F., Pichot C., Dreyfus P., Jordano P., Fady B., 2007. Modelling seed dispersal to predict seedling recruitment: Recolonization dynamics in a plantation forest. *Ecological Modelling* 203: 464–474

9. ÉVOLUTION ET ADAPTATION DANS LES POPULATIONS DE HÊTRE ET SAPIN DU MONT VENTOUX

Lorsque les populations d'une espèce occupent un environnement* spatialement hétérogène (par exemple, le long d'un gradient d'altitude ou de latitude), les caractères impliqués dans l'adaptation peuvent éventuellement évoluer vers des valeurs qui augmentent les performances de chaque population dans son milieu local. Ce processus, piloté par la sélection divergente, conduit alors à un **patron d'adaptation locale** (voir encadré).

Largement répandus dans les populations de plantes, les patrons d'adaptation locale témoignent de la capacité des populations à répondre à la sélection passée. Ce sont les tests de **provenances*** qui ont les premiers mis en évidence l'existence chez les arbres forestiers de patrons d'adaptation locale à large échelle, par exemple en montrant que dans un environnement donné, les performances des provenances locales étaient généralement meilleures que celles de provenances plus éloignées. Ces tests de provenance ont aussi révélé que la diversité génétique des caractères adaptatifs est généralement structurée le long de gradients environnementaux, comme les gradients de latitude ou de disponibilité en eau. Ces patrons d'adaptation locale déterminent aussi les trajectoires évolutives futures des populations. Dans le contexte du changement climatique, caractériser l'échelle spatiale et la magnitude des patrons d'adaptation locale est donc crucial pour anticiper et accompagner la réponse adaptative des populations.

Nous avons abordé ces questions dans le cas de provenances de hêtre et de sapin issues du mont Ventoux et deux autres montagnes provençales (Issole, Vésubie). L'intérêt de ces montagnes est d'offrir une forte variation des conditions environnementales (température, humidité, risque de gelée tardive) sur une faible distance géographique. De tels gradients climatiques peuvent induire des pressions de sélection divergente entre les populations (provenances) distribuées le long du gradient, et donc connectées par des flux de gènes. Nous avons comparé des provenances issues de différentes altitudes en termes de **performances*** (survie, croissance). Nous avons également comparé différents **caractères fonctionnels*** morphologiques (comme la surface des feuilles), physiologiques (comme la teneur en azote) ou phénologiques (comme la date de débournement).

Les caractères fonctionnels ou de performance varient généralement de façon plastique* avec l'environnement mais une partie de leur variation peut être aussi d'origine génétique. Pour séparer les composantes plastiques et génétiques, on peut mesurer les valeurs de ces caractères sur des familles issues de lots de graines récoltés sur des arbres-mères différents et toutes élevées dans les mêmes conditions (dans un même **jardin commun***). Le niveau de ressemblance entre individus d'une même famille par rapport à des individus de familles différentes permet d'estimer la composante génétique de la variation du caractère (c'est-à-

Sylvie Oddou-Muratorio⁽¹⁾, Aurore Bontemps⁽¹⁾, Julie Gaüzere⁽¹⁾, Anne Latreille⁽¹⁾, François Lefèvre⁽¹⁾, Bruno Fady⁽¹⁾, Christian Pichot⁽¹⁾, Patrice Brahic⁽²⁾, Olivier Gilg⁽³⁾, Bruno Jouaud⁽¹⁾⁽⁴⁾, Matthieu Lingrand⁽¹⁾, Mehdi Pringarbe⁽³⁾, Frank Rej⁽³⁾, Anne Roig⁽¹⁾, Norbert Turion⁽³⁾.

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

(2) ONF, RDI-PNRGF site pépinière de Cadarache

(3) INRAE, UE0348 Entomologie et Forêt Méditerranéenne (UEFM)

(4) INRAE - UAPV (Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse), UMR 1114 EMMAH

dire son **l'héritabilité***). Le niveau de variabilité du caractère exprimé par une même famille dans différents environnements donne accès à la **plasticité*** du caractère. Enfin, la différence entre provenances des moyennes d'un caractère donné révèle la composante génétique de la différenciation entre provenances, et suggère la présence d'adaptation locale.

Des transplantations réciproques pour tester l'adaptation locale chez le sapin

Une première étude de l'adaptation locale chez le sapin a porté sur 15 provenances issues de trois gradients altitudinaux (Ventoux, Issole, Vésubie) et réparties à des altitudes variant entre de 950 et 1 600 m. Cette étude de **transplantations réciproques*** a consisté à élever 57 descendances maternelles issues de ces 15 provenances dans neuf jardins communs, installés *in situ** sur les mêmes gradients et à 3 altitudes (1 000 à 1 600 ; Fig. 9.1).



Plantation expérimentale pour étudier l'adaptation au changement d'altitude pour les essences présentes sur le mont Ventoux (Plants prélevés à une altitude donnée et replacés à une autre).

© Photothèque INRA