



HAL
open science

Quelles ressources génétiques pour le sapin face aux changements climatiques ?

Hendrik Davi, Denis Vauthier, Céline Emberger, Maxime Cailleret, Christian Pichot, Bruno Fady

► **To cite this version:**

Hendrik Davi, Denis Vauthier, Céline Emberger, Maxime Cailleret, Christian Pichot, et al.. Quelles ressources génétiques pour le sapin face aux changements climatiques ?. Forêt Entreprise, 2012. hal-02642807

HAL Id: hal-02642807

<https://hal.inrae.fr/hal-02642807v1>

Submitted on 28 May 2020

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.



Quelles ressources génétiques pour le sapin face aux changements climatiques ?

Hendrik Davi, chargé de recherches à l'Inra d'Avignon

*Les dépérissements du sapin pectiné dans son aire méridionale préfigurent peut-être un risque accru pour cette espèce sur le reste du territoire dans le cadre des changements climatiques. Ce projet, financé par le réseau Aforce issu d'une collaboration entre l'Inra, l'IDF et l'ONE, étudie les potentialités d'adaptation aux changements climatiques à partir des ressources génétiques existantes au sein du genre *Abies*.*

Le sapin, une essence menacée

Les changements climatiques prévus par les modèles climatiques seront considérables et se font déjà sentir. Dans ce contexte, les forêts risquent d'être fortement impactées en ce qui concerne la production, l'état sanitaire ou la régénération. Les simulations sur le long terme semblent indiquer que les changements climatiques induiront, dans un premier temps, une augmentation de la productivité des forêts françaises, notamment à cause de la

fertilisation par le CO₂. Cependant, il est probable que la tendance s'inverse ensuite si la fréquence et l'intensité des canicules et des sécheresses s'accroissent. D'ailleurs, une augmentation des taux de mortalité et des signalements de dépérissement sont constatés ces dernières années (Vilalta et al., 2011).

Or le sapin pectiné est une essence très sensible à la sécheresse atmosphérique et édaphique. Face à une sécheresse même modérée, il cesse

rapidement sa croissance (Cailleret, 2011) et régule très fortement sa transpiration (Nourtier, 2011). Après une sécheresse prolongée, il perd des aiguilles et son état sanitaire global peut se détériorer. Si les mauvaises années se succèdent, une spirale infernale incluant une plus grande vulnérabilité aux insectes sous corticaux (Gillmann, 2010) peut conduire à la mort de l'arbre, plusieurs années après l'événement déclenchant le processus de dépérissement.

Les simulations d'évolution des aires potentielles sont par ailleurs très inquiétantes pour le sapin. Des baisses de productivité sont déjà observées en Méditerranée où la succession des sécheresses a impacté sa croissance (Cailleret, 2011). Cette vulnérabilité du sapin en limite d'aire de répartition, là où les sécheresses sont les plus intenses, a déjà eu des conséquences sur l'état sanitaire et la mortalité, comme l'a montré le projet Dryade (ANR- 487 06-VULN-004). Des dépérissements ont en effet été observés notamment depuis 2003 dans les sapinières françaises de l'arrière pays méditerranéen ou en Espagne. De tels épisodes de dépérissement avaient déjà été enregistrés suite à la sécheresse prononcée de 1976 (Lévy et Becker, 1987). Ces dépérissements du sapin dans son aire méridionale posent dès aujourd'hui des questions pour la gestion forestière de ces zones, mais aussi dans l'avenir sur la place de cette essence dans le reste de la France, le climat méditerranéen d'aujourd'hui pouvant préfigurer le climat de demain dans des zones beaucoup plus septentrionales de France.

Les différentes solutions

Les résultats du projet Dryade indiquent d'abord que la vulnérabilité aux changements climatiques dépend fortement du climat local mais aussi des conditions édaphiques et de la croissance passée. Si les peuplements de basse altitude sont les premiers touchés car ils sont soumis aux stress les plus longs et les plus intenses, nous avons aussi montré par analyse de sensibilité d'un modèle, simulant explicitement la réponse physiologique des arbres aux conditions environnementales (CASTANEA), que la probabilité de mortalité dépendait de la réserve utile des sols et de la biomasse du peuplement. Nous avons aussi observé sur certains sites, que les arbres morts sont en moyenne, paradoxalement, ceux qui ont eu la meilleure croissance juvénile. Enfin, il faut prendre sérieusement en compte l'impact des insectes sous corticaux (scolytes) dont le rôle semble prépondérant dans la transition entre un état sanitaire défavorable et la mort (Gillmann 2010). En termes de gestion cela implique à court terme, qu'il est possible de maintenir le sapin dans certaines zo-

nes, dans lesquelles les sols ou le microclimat sont favorables, moyennant des conduites sylvicoles appropriées :

- diminution de la compétition,
- conduite en peuplement mélangé ou
- exploitation des arbres morts pour éviter l'explosion de populations de scolytes. Mais la complexité des mécanismes conduisant à la mortalité des peuplements (Vilalta et al., 2011) recommande la prudence et la recherche d'une adaptation de la gestion sylvicole au cas par cas.

Cependant, à long terme, les caractéristiques écophysiologiques du sapin pectiné le rendent très vulnérable aux sécheresses et aux fortes températures attendues sur tout le territoire. Il est donc aussi nécessaire de réfléchir à l'évolution de nos sapinières vers des forêts plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques. Dans cette perspective, trois voies s'offrent à nous :

- favoriser l'adaptation génétique des ressources locales de sapin pectiné, utiliser des provenances moins vulnérables à la sécheresse,
- utiliser d'autres espèces du même genre comme les sapins méditerranéens notoirement plus résistants (Aussenac et al., 2002),
- trouver des essences de remplacement en dehors du genre *Abies*.

L'objectif du projet financé par le réseau Aforce, à l'issue de son appel à projets 2010, était d'avancer sur les voies deux et trois, qui correspondent toutes deux à des méthodes qui s'apparentent à de la migration assistée.

Quels dispositifs pour évaluer ces ressources génétiques ?

Nous disposons pour répondre à cette question des plantations de l'Inra et de l'ONF comparant différentes ressources génétiques (espèces, provenances et descendances) du sapin.



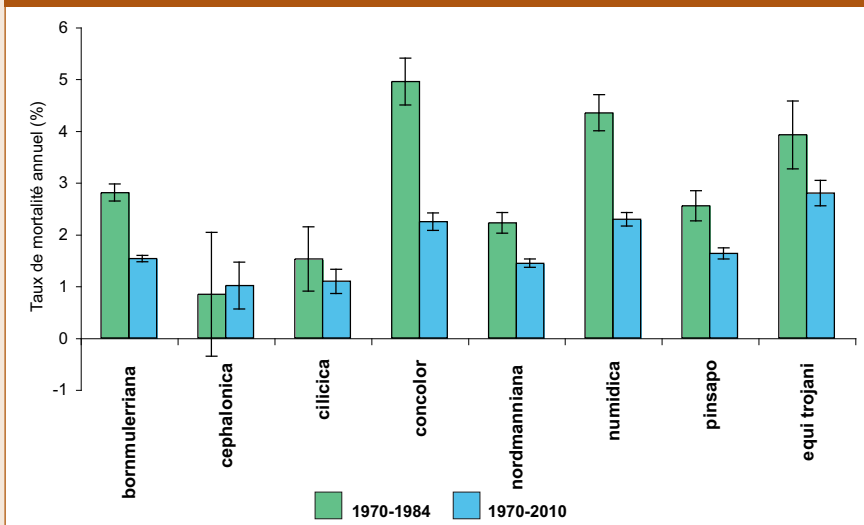
© H. Davi, INRA

À l'Inra, ces plantations comparatives ont été mises en place à la fin des années 1960, avec pour objectif d'apprécier la variabilité et la base génétique de certaines caractéristiques des principales essences forestières d'intérêt, en vue de sélectionner des variétés pour le reboisement. Mais nous sommes confrontés à un certain nombre de difficultés quant à la réutilisation de ces dispositifs. Tout d'abord, la fréquence des mesures qui y ont été prises et leur gestion varient, et la traçabilité précise de l'origine des provenances manque souvent. De plus, ils ont été pensés pour améliorer la production forestière en quantité et en qualité. Or nos résultats récents sur le dépérissement montrent qu'il n'y a pas toujours un lien évident entre production et résistance à la sécheresse. Enfin, le matériel végétal a souvent été sélectionné dans les parties les plus fertiles et productives des aires de répartition, et les zones marginales, présentant des adaptations locales singulières, mais une vigueur moindre, ne sont souvent pas représentées dans les réseaux expérimentaux. Utiliser des dispositifs pour répondre à une question différente de celle qui a prévalu à leur mise en place n'est donc pas évident.

Objectifs et méthodologie du projet

Notre intention est d'utiliser le sapin comme cas d'étude permettant d'affiner une méthodologie générique de recherche de ressources génétiques adaptées au changement climatique. La première étape de notre travail a consisté à faire un bilan des dispositifs existants avec une caractérisation des sites de plantation, une liste des ressources génétiques testées et des mesures effectuées. La seconde étape était de réaliser des inventaires en

Figure 1: taux de mortalité annuel (%) sur le site du Trep pour différentes espèces du genre *Abies* : *bormuelleriana*, *cephalonica*, *cilicica*, *concolor*, *nordmanniana*, *numidica*, *pinsapo*, *equi trojani*.



2010 de dispositifs mesurés dans la fin des années 90. Notre objectif était de voir si un signal de surmortalité, due à la succession de sécheresses était visible et s'il variait significativement selon les provenances testées. Enfin une dernière étape a été, sur un sous échantillon de dispositifs et de ressources génétiques (espèces et provenances), de réaliser des mesures complémentaires de largeur de cernes et de hauteur pour rechercher des indicateurs fiables de la vulnérabilité aux changements climatiques. D'autres mesures comme l'état sanitaire ou la production de cônes, caractère essentiel pour la régénération, avaient été envisagées. Mais *in fine* elles n'ont pas été possibles ou jugées pertinentes.

Résultats préliminaires

Nous avons synthétisé l'ensemble des dispositifs sapin existants dans un tableau comportant trois parties (dispositif, unité génétique, liste de mesures) en se basant sur les travaux déjà réalisés dans le cadre du réseau PlantaComp⁽¹⁾. 56 dispositifs de comparaison d'espèces

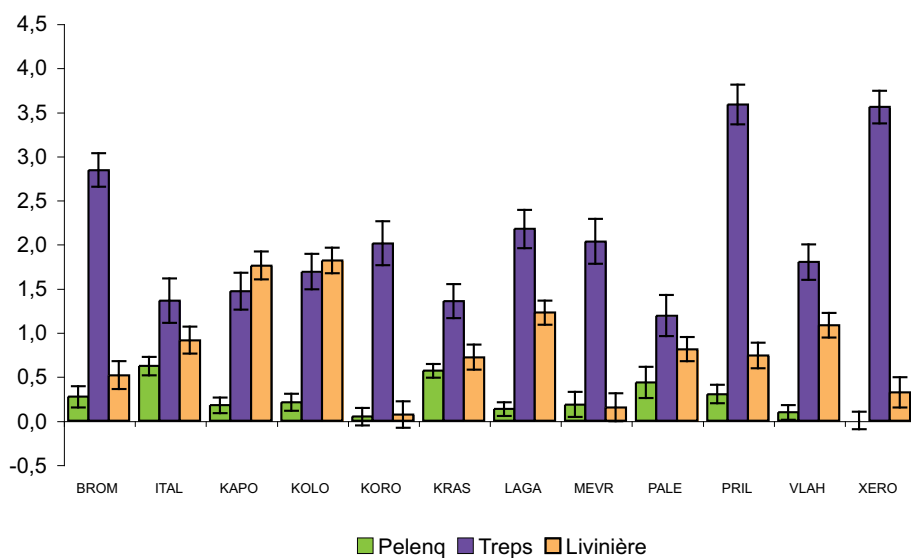
et de provenances Inra et 36 dispositifs IDF ont été recensés, rassemblant pour les provenances 557 unités génétiques appartenant à une dizaine d'espèces. Un total de 33 % de ces dispositifs sont toujours en place alors que 18 % ne le sont plus et nous ne disposons pas d'information pour près de 48 % d'entre eux. 42 % des unités génétiques correspondent à *Abies alba* (près de la moitié originaire de France) et 52 % à 10 autres espèces de sapin, essentiellement *nordmanniana* (15 %), *cephalonica* (11 %) et *bormuelleriana* (11 %). Le principal problème que nous avons mis en lumière lors de ce travail est la difficulté de récupérer des données précises quant à l'origine exacte des provenances. Nous avons effectué des remesures d'inventaire sur 6 dispositifs du sud-est de la France : trois dispositifs de comparaisons de provenances d'*Abies cephalonica*, un dispositif de comparaison des différentes espèces du genre *Abies*, deux dispositifs de comparaison de provenances d'*Abies alba* dont l'un pour des provenances européennes et l'autre pour des provenances françaises.

L'analyse du dispositif de comparaison d'espèces montre que les taux de mortalité due à la compétition au jeune âge (entre 1970 et 1984 ⁽²⁾) étaient plus forts (2,9 % par an) que le taux récent entre 1984 et 2010 (0,74 % par an). Cela illustre la difficulté de trouver un signal concernant la mortalité récente quand les inventaires sont trop espacés. Par contre, les différentes espèces présentent des taux de mortalité très contrastés (Figure 1, p. 38), *Abies Cephalonica* étant l'essence qui présente le moins de mortalité.

La comparaison de trois dispositifs d'*Abies cephalonica* a permis de mettre en lumière le fort effet dispositif : les taux de mortalité annuelles étant depuis 1991 de 2,1 %, 0,25 % et 0,84 % respectivement au Treps, à Pelenq et à La Livinière (Figure 2). Le classement exact des provenances selon leur vulnérabilité change entre les sites.

Concernant les comparaisons de provenance d'*Abies alba*, de fortes variations de mortalité ont aussi été trouvées, par exemple sur le site de Sagnassols (Figure 3, p. 40), et le taux de mortalité a augmenté fortement depuis 1995. Mais comme une forte coupe est intervenue en 1997, l'analyse des causes de la mortalité doit incorporer les effets de compétition. De plus, une analyse spatiale révèle que ce dispositif présente un gradient croissant de fertilité d'Ouest en Est. Nous avons aussi montré un effet négatif de la circonférence sur la probabilité de mortalité. Mais cet effet taille de l'arbre est due à la compétition car il disparaît quand un indice de compétition est aussi pris en compte dans le modèle de régression. Néanmoins, une fois corrigé des effets compétition et fertilité locale, il existe encore un effet provenance significatif. Cet exem-

Figure 2: taux de mortalité annuelle (entre 1991 et 2010) pour différentes provenances d'*Abies cephalonica* aux sites du Treps, de Pelenq et de la Livinière



ple montre donc qu'il est possible d'utiliser les inventaires pour inférer un classement de vulnérabilité entre provenances. Mais les effets spatiaux et l'impact de la compétition doivent impérativement être pris en compte.

À Sagnassols, les dynamiques de croissance passée estimées à partir des largeurs de cernes sont très proches entre provenances. Néanmoins, nous avons montré que certaines provenances étaient plus résistantes à la sécheresse (moindre diminution des largeurs de cernes en 2004), et que d'autres présentent globalement une sensibilité au climat plus faible. Lorsque l'on compare la mortalité des différentes provenances et ces indicateurs dendrométriques, on trouve que plus la largeur moyenne des cernes est forte, plus la probabilité de mortalité est faible.

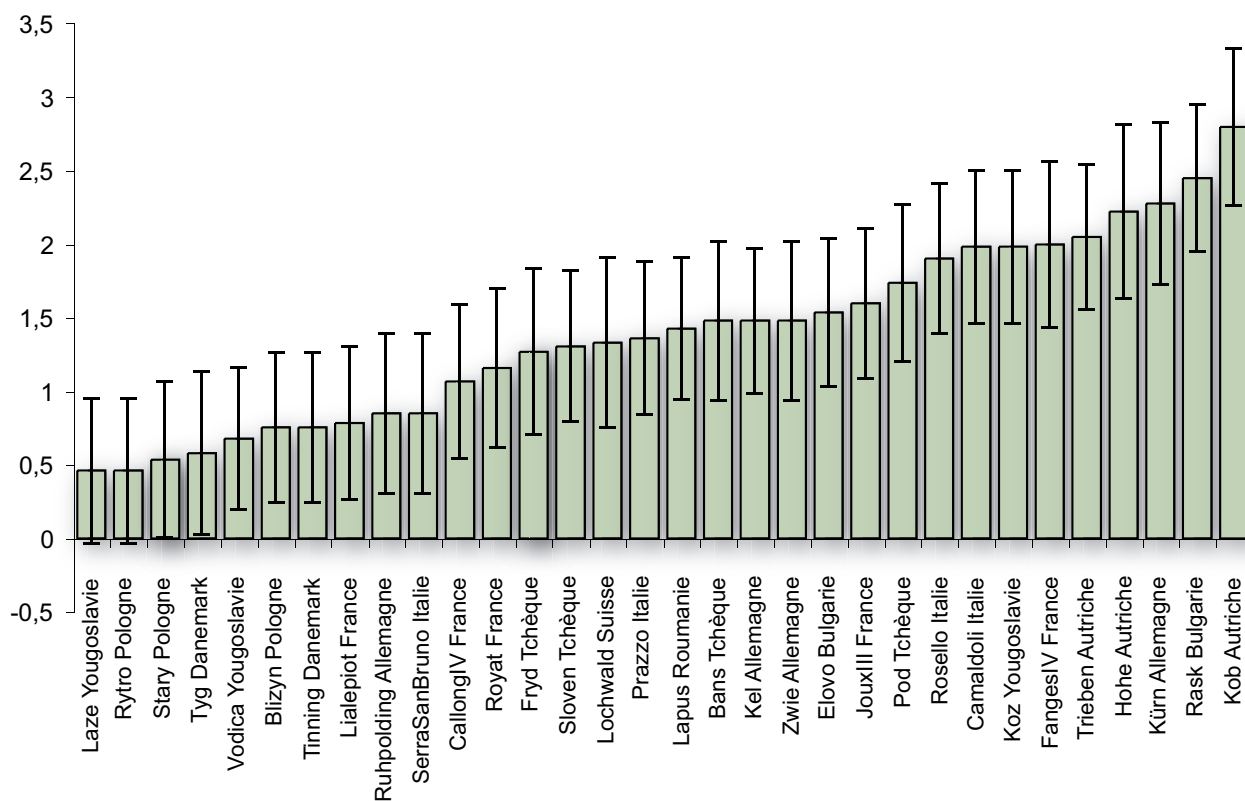
Quels outils pour la gestion ?

Au terme de ce projet, nous aurons trois types de résultats transférables aux gestionnaires et agents de développement. D'abord, sur la base des

études faites sur les 6 sites, nous pourrions donner un classement de vulnérabilité des différentes provenances à la sécheresse. Néanmoins, ces résultats seront à prendre avec précaution, sachant qu'il faudra les confirmer par des mesures sur d'autres sites expérimentaux où ces mêmes provenances sont aussi testées et par le renouvellement de ces mesures dans le temps. Les résultats sur le sapin de Céphonie nous incitent d'ailleurs à la prudence. Selon le climat du site de plantation, la vulnérabilité de certaines provenances peut changer. Ensuite, nous essaierons de fournir une liste d'indicateurs basés sur les mesures de cernes qui permettraient de connaître à moindre coût la vulnérabilité des peuplements.

Enfin, la ré-analyse des dispositifs devrait conduire à émettre des recommandations sur la mise en place de nouveaux dispositifs de comparaison de provenances qui prennent mieux en compte la variabilité stationnelle, les effets de compétition, et qui prévoient une meilleure traçabilité du matériel génétique. ■

Figure 3 : taux de mortalité annuel (1995-2010) de différentes provenances d'*Abies alba* sur le site de Sagnassols



Hendrik Davi, chargé de recherches à l'Inra d'Avignon

Denis Vauthier, technicien

Nicolas Mariotte, technicien

Céline Emberger, stagiaire

Maxime Cailleret, docteur

Christian Pichot, chargé de recherches

Bruno Fady, directeur de recherches.

1) http://www.oreans.inra.fr/les_unites/ue_gbfor/laction_plantacomp.

2) 1984 est la date du dernier inventaire avant 2010 sur ce site.

Résumé

Les caractéristiques écophysologiques du sapin pectiné le rendent vulnérable aux sécheresses et aux fortes températures attendues par le changement climatique. L'objet de ce projet est d'examiner les ressources génétiques disponibles pour adapter nos forêts aux changements climatiques. Les plantations comparatives du genre *Abies* sont recensées et analysées. De nouveaux indicateurs évaluent leur vulnérabilité aux sécheresses. L'étude complète des ressources génétiques aboutira au classement de vulnérabilité des différentes provenances et espèces. Au sein du groupe des sapins euro-méditerranéens, le sapin de Céphalonie présente la meilleure survie au cours de la période étudiée. En plus des inventaires réguliers, les mesures de largeur de cernes semblent être un indicateur intéressant pour analyser la vulnérabilité des peuplements.

Mots-clés : sapin pectiné, dépérissements, ressources génétiques, changement climatique.

Bibliographie

- **Aussenac, G., 2002.** *Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change.* Annals of Forest Science, 59(8), 823-832.
- **Cailleret M., 2011.** *Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence.* Thèse de Doctorat de l'Université Paul Cézanne. Ecole Doctorale Sciences de l'environnement.
- **Nourtier M., 2011.** *La vulnérabilité du sapin pectiné (Abies alba Mill.) à la sécheresse selon les propriétés hydriques du sol en milieu méditerranéen.* Université d'Avignon Pays du Vaucluse. Ecole Doctorale Sibaghe. 258 p.
- **Gillmann M., 2010.** *Influence et rôle de deux facteurs biotiques (Viscum album L. et Scolytidae) impliqués dans le processus de dépérissement et de mortalité du Sapin pectiné (Abies alba Mill.).* Master 2 Écologie Fonctionnelle, comportementale et évolutive. Université de Rennes 1.
- **Levy G, Becker M., 1987.** *Le dépérissement du sapin dans les Vosges : rôle primordial de déficits d'alimentation en eau.* Ann Sci For, 44, 403-416.
- **Vilalta, J.M., Lloret, F., Breshears, D., 2011.** *Drought-induced forest decline: causes, scope and implications.* Biol. Lett. published online 14 December 2011 doi: 10.1098/rsbl.2011.1059.