



**HAL**  
open science

## Régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert : contrainte de la végétation monopoliste de sous-bois en milieu acide

Noémie Gaudio, Philippe Balandier, Yann Dumas, Christian Ginisty

### ► To cite this version:

Noémie Gaudio, Philippe Balandier, Yann Dumas, Christian Ginisty. Régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert : contrainte de la végétation monopoliste de sous-bois en milieu acide. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2011, 33-34, pp.18-24. hal-02642817

**HAL Id: hal-02642817**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02642817v1>**

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.

## Régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert : contrainte de la végétation monopoliste de sous-bois en milieu acide

*Les travaux présentés dans cet article résultent d'une thèse qui s'inscrit dans la convention de recherche Cemagref-ONF et s'intéresse au renouvellement des peuplements mélangés chêne – pin en forêt d'Orléans. Vu la différence d'exploitabilité des deux essences cela suppose de doser le couvert arboré pour permettre l'installation de semis sans les exposer à une trop forte concurrence de la végétation. Il s'agit donc de préciser les besoins en lumière des semis de pin sylvestre et d'étudier les mécanismes de compétition entre semis et végétation interférente.*

La régénération des peuplements forestiers est une période critique, généralement coûteuse et qui demande beaucoup d'attention aux gestionnaires forestiers. Dans les schémas de régénération naturelle des futaies régulières en plein (ou dans les schémas de plantation), il ne paraît pas vraiment possible de contrôler, par le couvert du peuplement ou par le sous-étage, la lumière arrivant au sol et par là même le développement de la végétation interférente. Dans ces cas sont donc utilisées des techniques de travail du sol ou de contrôle manuel, mécanique ou éventuellement chimique de la végétation concurrente aux jeunes semis ou plants.

Par contre, le gestionnaire peut vouloir le maintien du couvert dans certaines zones, au titre de l'environnement ou des paysages, et adoptera alors une gestion en futaie irrégulière avec recherche de régénération sous couvert « continu ». Dans ce traitement, la régénération est généralement obtenue par tache ou en petites trouées ; mais les travaux de sol ou de contrôle mécanique

sont alors beaucoup plus difficiles à mettre en œuvre (éparpillés, accès contraignant...). Aussi, l'idée de permettre l'installation de semis par tache et de contrôler le développement de la végétation par le couvert a tout son sens : c'est dans ce cadre que nous positionnons nos travaux de recherche.

### La gestion en futaie irrégulière : piloter les processus naturels de la dynamique forestière

La gestion en futaie irrégulière suppose de conserver un couvert arboré dans le temps, tout en prélevant régulièrement des tiges par des coupes assurant simultanément l'amélioration du peuplement et la récolte d'arbres mûrs. La création d'une trouée en forêt entraîne une augmentation de lumière en sous-bois qui favorise théoriquement l'installation et la croissance des jeunes arbres et donc le renouvellement du peuplement forestier. Cependant, cette augmentation de lumière peut également provoquer le développement rapide et prononcé de certaines espèces végé-

tales herbacées et arbustives héliophiles qualifiées de monopolistes (Balandier et Pauwels, 2002), c'est-à-dire capables de coloniser le nouvel espace disponible au détriment des autres espèces, y compris des espèces d'arbre en régénération. La régénération des jeunes arbres en sous-étage peut alors être compromise par cette végétation dense compétitrice pour les ressources du milieu (Frochot et al., 2002) que sont la lumière au niveau aérien et l'eau et les nutriments au niveau souterrain.

La problématique de régénération sous couvert est donc de créer des trouées dans les peuplements forestiers transmettant suffisamment de lumière en sous-étage pour assurer le développement des jeunes arbres tout en empêchant un développement trop prononcé de la végétation monopoliste. Cela nécessite d'apprécier les besoins en lumière des différentes espèces potentiellement présentes dans le sous-étage du peuplement pour mettre au point un contrôle des espèces monopolistes via une gestion raisonnée de la canopée arborée

adulte. Ceci impose de comprendre comment se fait le partage de la lumière entre les arbres adultes, les jeunes arbres et la végétation monopoliste caractéristique du milieu forestier considéré, et cela dans un contexte d'installation simultanée des jeunes arbres et de la végétation monopoliste suite à des ouvertures dans le peuplement adulte.

### Le partage de la lumière en forêt

En forêt, la lumière est interceptée par plusieurs strates végétales avant d'atteindre finalement le sol et les semis (figure 1). Ainsi, la lumière incidente ( $I_0$ ) parvient d'abord aux arbres adultes qui en interceptent une partie et en transmettent une autre partie en sous-bois ( $I'$ ). Cette lumière arrivant en sous-bois est à son tour interceptée par les différentes strates végétales, y compris par la végétation monopoliste. Il en résulte ainsi une certaine quantité de lumière ( $I''$ ) disponible au niveau du sol pour les semis. Il est donc nécessaire de quantifier le développement de la végétation monopoliste en fonction de la lumière disponible en sous-bois ( $I'$ ) ainsi que son impact sur l'éclairement au niveau du sol ( $I''$ ) afin de connaître la quantité de lumière finalement accessible pour les semis se développant au sein de la végétation. Les résultats sont souvent exprimés en pourcentage de lumière par rapport à l'incident (soit  $(I'/I_0$  ou  $I''/I_0) \times 100$ ). Cette valeur est encore appelée la transmittance du couvert (Balandier *et al.*, 2010).

### Callune, molinie et fougère aigle : trois espèces monopolistes largement représentées en Europe

Nous avons travaillé sur l'impact de trois espèces monopolistes (la callune – *Calluna vulgaris*, la molinie – *Molinia caerulea* et la fougère aigle – *Pteridium aquilinum*)

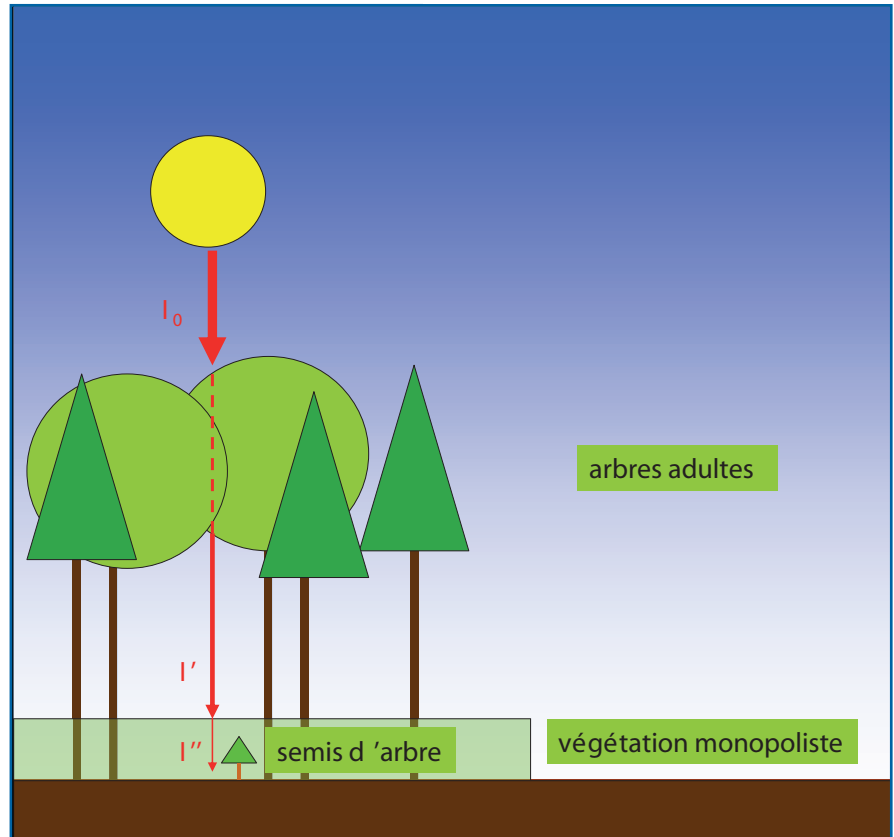


Fig. 1 : le partage de la lumière en forêt

sur la régénération du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) dans un contexte de forêt de plaine, tempérée et acide (massif de Lorrin, en forêt domaniale d'Orléans), dans des peuplements mélangés chêne sessile – pin sylvestre (voir Gaudio, 2010 pour les détails concernant les dispositifs expérimentaux mis en place).

### Un développement très influencé par la lumière disponible en sous-bois

La callune, la molinie et la fougère aigle sont trois espèces de sous-bois rencontrées fréquemment en forêt tempérée acide. Ces trois espèces sont capables de coloniser totalement le sous-bois (photographie 1) et leur développement est fortement influencé par la lumière disponible. En effet, le taux de recouvrement de ces trois espèces, estimé visuellement par le pourcentage de sol occupé par la projection verticale du feuillage, augmente avec la lumière disponible

en sous-bois (figure 2-a). De plus, la fougère, de par son feuillage horizontal et couvrant, atteint des taux de recouvrement très importants dès les faibles éclaircissements comparativement à la molinie, caractérisée par le port érigé typique des graminées, et la callune, dont le feuillage est constitué d'une multitude de petites feuilles. Pour une lumière arrivant en sous-bois de l'ordre de 10-15 %, non seulement ces trois espèces sont présentes mais elles atteignent déjà des taux de recouvrement conséquents, ce qui contredit quelque peu la classification empirique les définissant comme des espèces exigeantes en lumière (Ellenberg *et al.*, 1992).

### Impact des trois espèces monopolistes sur l'éclairement disponible au niveau du sol

Ces trois espèces réagissent à l'éclairement et sont également capables d'intercepter une forte quantité de lumière. L'interception

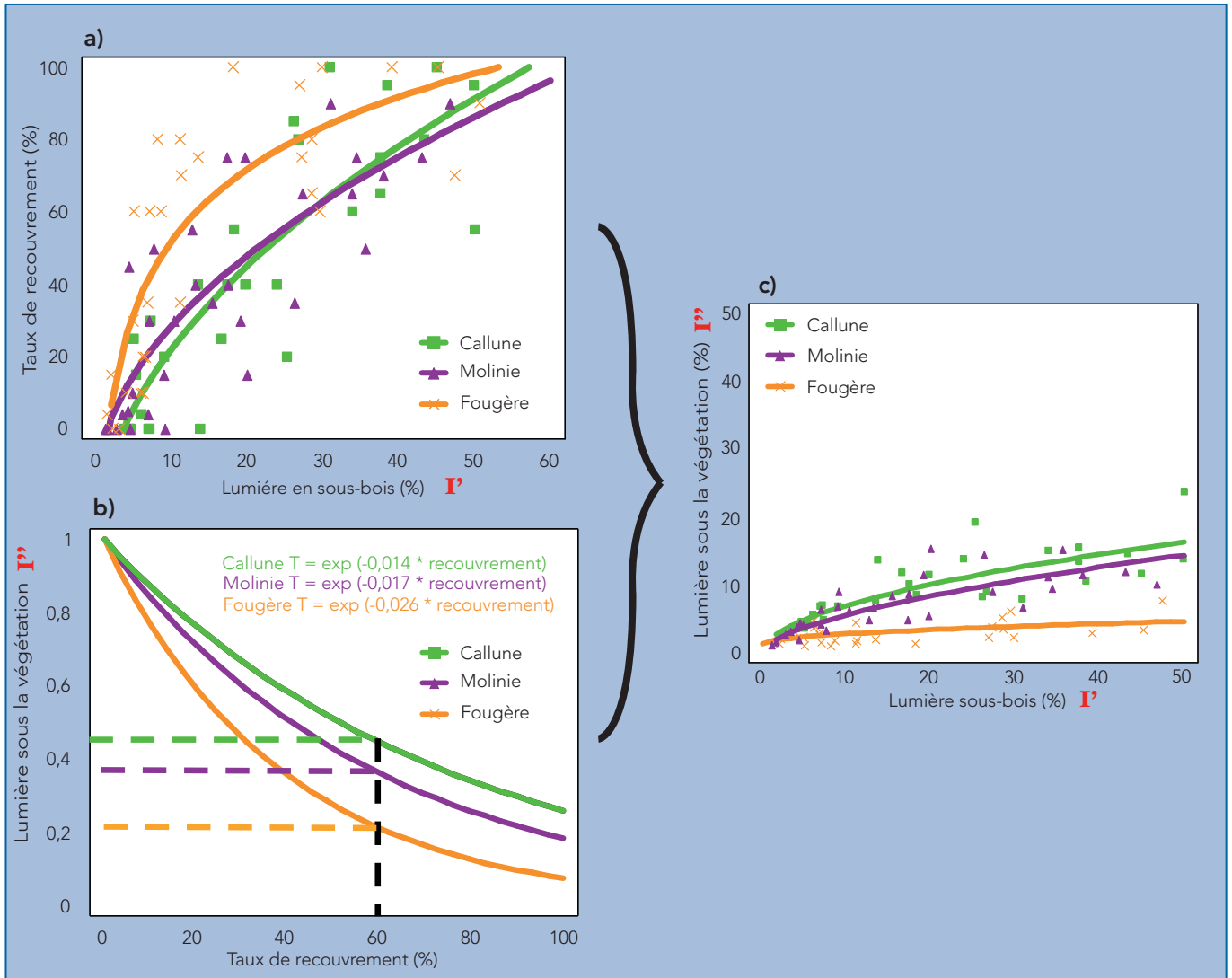
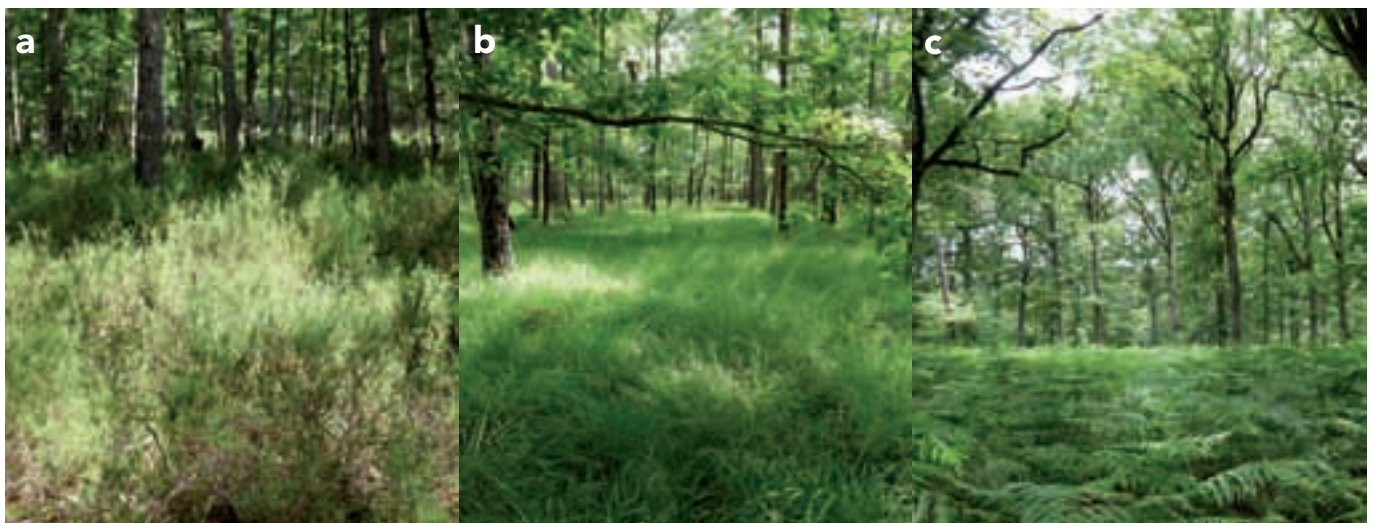


Fig. 2: taux de recouvrement en fonction de la lumière disponible en sous bois de trois espèces monopolistes (a), lumière disponible sous ces trois espèces en fonction de leur recouvrement (b) et conséquences en termes de lumière disponible pour la régénération (c)



Peuplements mélangés ou non de chêne sessile et pin sylvestre en FD d'Orléans, avec sous-bois colonisé par a) la callune, b) la molinie ou c) la fougère aigle

N. gaudin, Cemagref

de la lumière en forêt peut être simulée en utilisant une analogie à la loi de Beer-Lambert qui correspond à une fonction exponentielle négative (Balandier *et al.*, 2010) dont l'intensité de la pente (coefficient d'extinction de la lumière) reflète la capacité d'interception de la lumière de l'espèce considérée. Pour un même taux de recouvrement, la fougère transmet moins de lumière que la molinie qui en transmet elle-même moins que la callune (figure 2-b). La fougère est donc l'espèce qui intercepte le plus de lumière.

Il apparaît ainsi que quelle que soit la lumière parvenant en sous-bois, la lumière disponible sous les trois espèces monopolistes est faible, toujours inférieure à 20 % (figure 2-c). Sous la fougère, ce phénomène est particulièrement marqué : la lumière disponible ne dépasse pas les 5 %. Les trois espèces ayant un impact sur la lumière arrivant au sol, elles sont donc susceptibles d'affecter l'apparition et le développement des semis de pin sylvestre.

### Le pin sylvestre peut-il se régénérer sous couvert en présence de callune, molinie ou fougère ?

**Les semis de pin sylvestre sont capables de tolérer un certain ombrage**

Des expérimentations réalisées *in situ* en forêt domaniale d'Orléans mettent en évidence que la croissance des semis de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) est influencée positivement et significativement par le niveau d'éclairement. Le développement des semis est cependant compromis en deçà d'un ombrage correspondant à un éclairement de 5 à 10 % en sous-bois, ce qui est relativement faible (figure 3). La lumière est donc certes une ressource essentielle pilotant la croissance des semis de pin sylvestre mais, contrairement à la littérature existante qui le décrit

comme une espèce strictement héliophile (Lanier *et al.*, 1986), cette espèce est capable de supporter un certain ombrage, au moins au stade semis.

Pour donner une image, cet éclaircissement de 10 % en sous-bois se produit dans des peuplements adultes réguliers et purs de pin sylvestre et de chênes pédonculé et sessile caractérisés respectivement par une surface terrière supérieure à 40 m<sup>2</sup>/ha (Sonohat *et al.*, 2004) et 30 m<sup>2</sup>/ha (Balandier *et al.*, 2006). Cela correspond à des peuplements très denses, ce qui indiquerait que les semis de pin sylvestre seraient capables de se développer dans de nombreux peuplements mélangés chêne sessile – pin sylvestre de la forêt d'Orléans où la surface terrière totale est souvent bien inférieure à ces valeurs. Nous avons cependant vu précédemment que, pour des éclaircissements supérieurs à 10 % en sous-bois, la végétation monopoliste était également susceptible d'envahir le milieu.

### Impact de la végétation sur la régénération des semis de pin

Dans le cas d'une installation simultanée de la végétation monopoliste et des semis de pin sylvestre suite à la création d'une trouée dans le peuplement adulte, les trois espèces monopolistes étudiées ont en effet un impact négatif sur la croissance des semis de pin. Si l'espèce monopoliste qui envahit la trouée est la fougère, le développement des semis de pin semble totalement compromis étant donné que l'éclairement disponible sous la fougère est systématiquement inférieur à 5 % (figure 2-c). Pour assurer l'installation des semis de pin, la fougère devra donc impérativement être contrôlée mécaniquement ou chimiquement.

Si l'espèce qui envahit la trouée nouvellement formée est la callune ou la molinie, un contrôle semble possible via une gestion raisonnée de la canopée arborée adulte. Nos résultats mettent en évidence trois types de situations (figure 4) :

**1)** dans un peuplement dense ne transmettant que 10 % de lumière

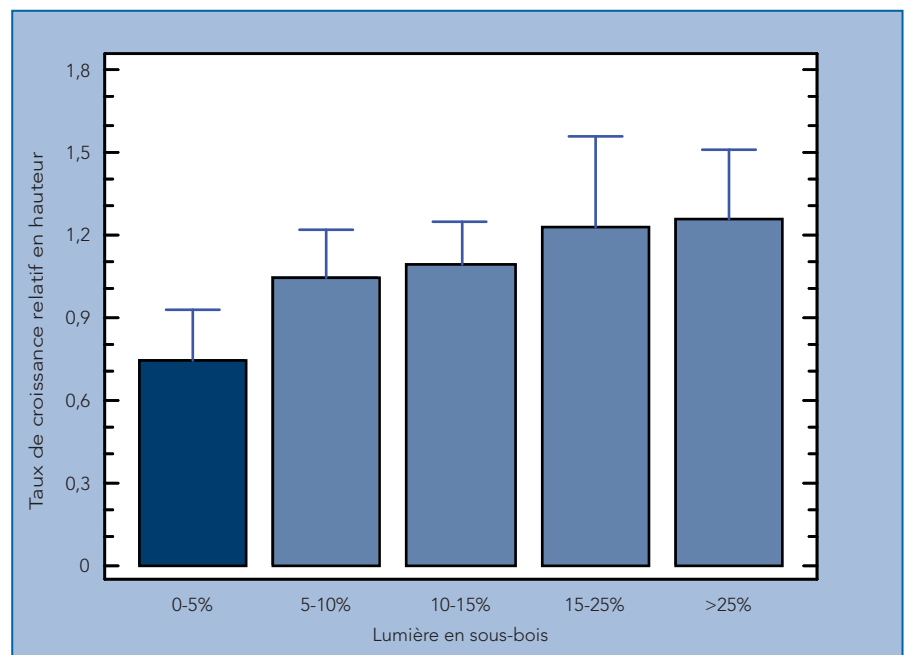


Fig. 3 : taux de croissance relatif en hauteur  $((Ht - Ht-1)/Ht-1)$  de semis de pin sylvestre lors de leur deuxième année de croissance en fonction de la lumière disponible dans le sous-bois

La différence des couleurs de bâtons indique une différence significative entre classes de lumière

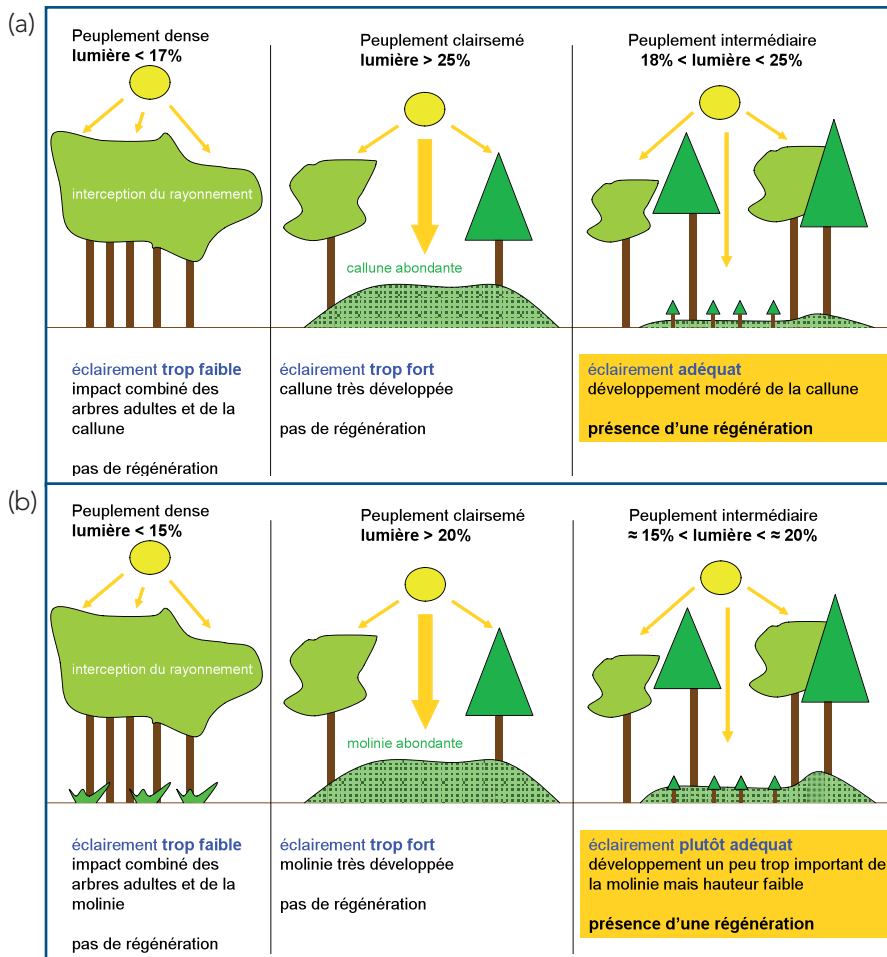


Fig. 4 : illustration des conditions permettant ou non la régénération du pin sylvestre en présence de callune (a) ou de molinie (b)

en sous-bois, les semis de pin ne peuvent pas se développer et la callune et la molinie sont alors présentes de manière clairsemée ; **2)** à l'opposé, si de larges ouvertures sont réalisées dans le peuplement, avec un éclairage en sous-bois supérieur à 20-25 %, le développement des semis de pin est compromis par la concurrence imposée par la callune ou la molinie qui forment alors un couvert très dense. Cependant, la croissance des semis n'est dans ce cas pas inhibée par un manque de lumière car pour une quantité de lumière supérieure à 25 % dans la trouée, la lumière disponible sous la molinie et la callune est légèrement supérieure à 10 % (figure 2-c). Les causes impliquées sont alors des facteurs autres que la lumière, parmi lesquels nous pouvons suspecter une

forte compétition souterraine pour l'eau et les nutriments en présence de molinie ou encore des phénomènes d'allélopathie souvent évoqués pour les éricacées (Gallet et Pellissier, 2002 ; Gaudio et al., 2011a).

**3)** Il existe entre ces deux situations une plage d'éclairage intermédiaire correspondant à un peuplement forestier dans lequel des trouées transmettant entre 15 et 25 % de lumière dans le sous-bois seraient créées. Dans ces conditions, l'éclairage n'est pas suffisant pour provoquer un envahissement par la callune ou la molinie et les semis de pin peuvent se développer et petit à petit dépasser la végétation. La régénération des pins est ainsi possible. La difficulté est alors de traduire l'objectif d'éclairage en paramètres de-

drométriques interprétables par le forestier. À titre indicatif, cette plage d'éclairage correspondrait en peuplements purs et réguliers à une fourchette de surface terrière entre 30 et 40 m<sup>2</sup>/ha pour le pin et entre 20 et 27 m<sup>2</sup>/ha pour le chêne ; mais le problème n'est pas résolu et reste un sujet de recherche en peuplements mélangés (Balandier et al., 2010).

Par la suite, ce n'est pas parce que le semis de pin sylvestre est parvenu à dépasser la végétation basse que sa pérennité dans le peuplement est assurée. Il a été montré dans la littérature que les besoins en lumière d'un individu augmentent avec sa dimension (Claveau et al., 2005). En effet, si le jeune arbre continue de croître dans un environnement forestier relativement sombre sans que la lumière disponible augmente, il va atteindre une dimension critique au-delà de laquelle les apports de carbone par photosynthèse ne seront plus suffisants pour assurer la croissance (Dreyer et al., 2005 ; Messier et al., 1999). Cette « dimension critique » correspond en fait à la taille maximale que peut atteindre un individu pour un éclairage donné ; elle est particulièrement intéressante en terme de gestion pour déterminer l'éclairage minimal nécessaire en sous-bois afin d'éviter une stagnation de la croissance de l'individu considéré. Pour donner quelques chiffres, elle est par exemple, pour le pin sylvestre dans les conditions de la forêt domaniale d'Orléans de 3,3 m pour une plage d'éclairage entre 10 et 15 % alors qu'elle est de 3,8 m pour des éclairages allant de 15 à 20 % (Gaudio et al., 2011b).

### En conclusion

Dans le contexte de la forêt d'Orléans, nos résultats montrent donc que la régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert, dans le cadre de gestion en futaie irrég-

## Comment se situent ces résultats dans le champ des questions posées, en forêt publique, sur la maîtrise de la végétation concurrente en régénération ?

(Claudine Richter et Christine Micheneau, département R&D de l'ONF)

Rappelons tout d'abord que les résultats présentés dans cet article ne concernent que la régénération du pin sylvestre **en futaie irrégulière de plaine**. Pour les forêts publiques françaises, les situations correspondantes sont bien circonscrites par les guides de sylviculture en vigueur<sup>1</sup> et <sup>2</sup>:

- « *Le traitement irrégulier est déconseillé pour les peuplements [quasi] purs de pin sylvestre.* » (ref. 1, p. 239) ;
- Il s'applique de fait aux peuplements hétérogènes (en composition et structure), hérités de l'histoire des introductions résineuses du 19<sup>e</sup> siècle. « *Ces peuplements se trouvent essentiellement dans des contextes stationnels en mosaïque dans une gamme de sols acides avec des engorgements marqués par place. Le mélange chêne sessile et pin sylvestre est fréquent* » (ref. 1, p. 226) ;
- Symétriquement (ref 2, p. 151), « *en chênaie acidiphile, le traitement irrégulier paraît intéressant avec l'espoir de voir la continuité du couvert limiter le développement de la flore acidiphile très concurrentielle pour les semis de chêne, et la possibilité de gérer en mélange chêne et pin sylvestre souvent associés dans ces milieux* ».

La plupart des peuplements répondant à ces critères sont assez proches des conditions expérimentales de l'étude (une grande partie se trouve d'ailleurs en FD d'Orléans). Les conclusions y sont donc directement applicables : la (relative) continuité du couvert peut, dans une gamme d'éclaircissement assez restreinte, assurer la régénération du pin sylvestre en limitant le développement de la végétation acidiphile concurrente s'il s'agit de callune ou molinie ; mais pas s'il s'agit de fougère aigle (des dégagements restent alors nécessaires). Ceci étant, la mise en pratique suppose encore qu'on puisse traduire la fourchette d'éclaircissement en données dendrométriques aisément interprétables par le gestionnaire...

En revanche, les conclusions ne sont pas forcément transposables aux futaies irrégulières relevant d'autres considérations (volonté du propriétaire, nécessités environnementales ou paysagères...), dans des conditions stationnelles différentes. Par exemple, la dynamique de végétation concurrente est différente en contexte xérophile.

Par ailleurs **en futaie régulière**, comme le disent les auteurs, il n'y a pas de contrôle possible de la végétation interférente par la gestion du couvert. La recherche-développement porte donc sur les itinéraires de travaux sylvicoles, sous les deux aspects suivants.

**L'équipe MGVF** (Mission gestion de la végétation en forêt)<sup>A</sup> de l'INRA Nancy travaille sur les alternatives aux herbicides en forêt, notamment dans le cadre du projet Alter lancé en 2010 avec l'aide du MAAP et de la Région Alsace et conduit en partenariat avec l'ONF et le FCBA ainsi que les associations alsaciennes RITTMO<sup>B</sup> et ARAA<sup>C</sup>. Ce programme se focalise sur les plantations en stations acides dominées par des végétations à base de molinie, fougère et éricacées dans la mesure où ces contextes, reconnus parmi les plus bloquants, sont largement répandus sur tout le territoire français (Aquitaine, grand Ouest, Centre, Nord-Est, Normandie Alsace...). Sur une série de dispositifs expérimentaux installés dans quatre régions, il s'agit d'évaluer l'efficacité de techniques mécanisées légères (outils type culti-sous-soleur ou râteau scarificateur montés sur minipelle) en comparaison avec 3 types de « témoins » (pas d'intervention, sol maintenu « à nu », pratique de référence locale). L'évaluation porte sur les taux de reprise, la dynamique de croissance des plants (vigueur et vitesse d'affranchissement de la concurrence herbacée) et l'appréciation de l'économie en travaux de dégagement.

Dans le cadre de la démarche ONF d'**optimisation de la mécanisation forestière**, un groupe de travail constitué fin 2010 a répertorié, analysé et catégorisé l'ensemble des situations de blocage de la régénération (par la végétation ou par les contraintes physiques du sol) et des techniques mécanisées destinées à y remédier, y compris celles du projet Alter. Il en résulte une grille de diagnostic et de correspondance avec les méthodes de préparation mécanisée du sol les plus pertinentes... selon un « chemin de décision » qui commence avant la (les) coupe(s) de régénération. Ce travail considérable, qui reste à valider, sera mis à la disposition des chargés de sylviculture en DT et agences qui en assureront la déclinaison adaptée à chaque territoire.

1 Chabaud L., Nicolas L., 2009. *Guide des sylvicultures : Pineraies des plaines de Centre et du Nord-Ouest*. ONF, 399 p.

2 Jarret P., 2004 *Guide des sylvicultures : Chênaie atlantique*. ONF, 335 p.

A [http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/presentation\\_MGVF\\_et\\_travaux\\_en\\_cours\\_2010-3-1.pdf](http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/presentation_MGVF_et_travaux_en_cours_2010-3-1.pdf)

B RITTMO Agroenvironnement : Centre de recherche appliquée, d'expertise et de prestations techniques dans les domaines de la fertilisation organique et de l'agroenvironnement ;

C ARAA : Association pour la relance agronomique en Alsace

gulière ou de gestion transitoire de mélange chêne – pin, paraît possible par un contrôle de la lumière arrivant en sous-bois. En présence de fougère aigle, toutefois, le contrôle de l'éclairement par le peuplement principal ou le sous-étage arboré ne suffit pas pour permettre la régénération et des travaux sont certainement nécessaires pour permettre l'apparition et le développement des semis de pin.

En cas de molinie ou de callune, le contrôle de la lumière par le peuplement peut suffire à contenir l'espèce de façon à permettre le développement des semis de pin. Mais dans toutes ces situations, l'apparition des semis est conditionnée par d'autres facteurs tels que l'importance et la qualité des fructifications, la prédation des graines et jeunes semis (oiseaux, rongeurs, limaces); l'épaisseur d'humus est aussi souvent citée comme facteur défavorable à la germination du pin sylvestre. Autant de verrous à lever pour réussir ses régénérations sous couvert partiel.

**Noémie GAUDIO**

Cemagref Nogent-sur-Vernisson  
UR Ecosystèmes forestiers

**Philippe BALANDIER**

Cemagref/INRA Clermont-Ferrand  
UMR547 PIAF

**Yann DUMAS**

Cemagref Nogent-sur-Vernisson  
UR Ecosystèmes forestiers

**Christian GINISTY**

Cemagref Nogent-sur-Vernisson  
UR Ecosystèmes forestiers

**Bibliographie**

Balandier P., Marquier A., Perret S., Collet C., Courbaud B., 2010. Comment estimer la lumière dans le sous-bois forestier à partir des caractéristiques dendrométriques des peuplements. *Rendez-Vous Techniques ONF* n° 27-28, pp. 52-58

Balandier P., Pauwels D., 2002. La lumière : outil sylvicole pour favoriser la diversité végétale ou la gestion cynégétique des peuplements de mélèze (*Larix* sp.). *Forêt Wallonne* n° 61, pp. 9-13

Balandier P., Sonoht G., Sinoquet H., Varlet-Grancher C., Dumas Y., 2006. Characterisation, prediction and relationships between different wavebands of solar radiation transmitted in the understorey of even-aged oak (*Quercus petraea*, *Q. robur*) stands. *Trees*, vol. 20 n° 3, pp. 363-370

Claveau Y., Messier C., Comeau P.G., 2005. Interacting influence of light and size on aboveground biomass distribution in sub-boreal conifer saplings with contrasting shade tolerance. *Tree Physiology*, vol. 25 n° 3 pp. 373-384.

Dreyer E., Collet C., Montpied P., Sinoquet H., 2005. Caractérisation de la tolérance à l'ombrage des jeunes semis de hêtre et comparaison avec les essences associées. *Revue forestière française*, vol. 57 n° 2, pp. 175-188

Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D., 1992. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa* ; Verlag Goltze : Göttingen, 248 p.

Frochot H., Armand G., Gama A., Nouveau M., Wehrle L., 2002. La gestion de la végétation accompagnatrice : état et perspective. *Revue forestière française*, vol. 54 n°6, pp. 505-520

Gallet C., Pellissier F., 2002. Les interactions allélopathiques en milieu forestier. *Revue forestière française*, vol. 54 n°6, pp. 567-576.

Gaudio N., Balandier P., Philippe G., Dumas Y., Jean F., Ginisty C., 2011a. Light-mediated influence of three understorey species (*Calluna vulgaris*, *Pteridium aquilinum*, *Molinia caerulea*) on the growth of *Pinus sylvestris* seedlings. *European Journal of Forest Research*, vol. 13 n° 1, pp. 77-89

Gaudio N., Balandier P., Perret S., Ginisty C., 2011b. Growth of understorey Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) saplings in response to light in mixed temperate forest. *Forestry*, vol. 84 n° 2, pp. 187-195.

Gaudio N., 2010. Interactions pour la lumière au sein d'un écosystème forestier entre les arbres adultes, les jeunes arbres et la végétation du sous-bois. Thèse. Cemagref de Nogent-sur-Vernisson, Université d'Orléans. 194p.

Lanier L., Badré M., Delabrazé P., Dubourdieu J., Flammarion JP., 1986. *Précis de sylviculture*. EN-GREF, Nancy (France), 476 p.

Messier C., Doucet R., Ruel JC., Claveau Y., Kelly C., Lechowicz MJ., 1999. Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 29 n° 6, pp. 812-823

Sonoht G., Balandier P., Ruchaud F., 2004. Predicting solar radiation transmittance in the understorey of even-aged coniferous stands in temperate forests. *Annals of Forest Science*, vol. 61 n° 7, pp. 629-64