

## Contrôler la fougère aigle sans asulame : quelles méthodes alternatives pour réussir les plantations ?

La fougère aigle entrave souvent le renouvellement des peuplements, que ce soit par régénération naturelle ou par plantation. L'asulame, herbicide sélectif utilisé contre la fougère, offrait une solution de maîtrise peu coûteuse et efficace. Pour faire face à son retrait du marché, des méthodes nouvelles sont à évaluer. Cet article examine des solutions alternatives mécanisées pour les contextes de plantation forestière : premiers résultats d'un réseau expérimental installé et suivi par l'équipe MGVF de l'INRA, l'ONF et leurs partenaires.

La fougère aigle (*Pteridium Aquilinum*) (figure 1) est une espèce herbacée qui peut induire des échecs de plantation, partiels ou complets. Principalement présente sur des stations acides sans engorgement en eau, elle a une large amplitude écologique qui lui assure une présence dans de nombreux contextes et sur des surfaces importantes (Gama *et al.*, 2006). La fougère aigle a une croissance rapide et, à plein développement, sa hauteur peut dépasser 3 m (Dumas, 2002). Elle est fortement consommatrice en eau, notamment en période estivale, et en éléments minéraux qu'elle stocke dans ses rhizomes (Gaudio, 2010). Elle est également très compétitrice pour la lumière, notamment vis-à-vis des jeunes arbres (Gaudio, 2011). Ses rhizomes gênent la plantation et freinent le développement racinaire des plants. En fin de saison de végétation, ses frondes s'affaissent et, en cas de fort développement, peuvent provoquer des déformations sur les jeunes arbres. Lorsqu'elle est sèche, elle constitue un bon combustible, augmentant ainsi les risques d'incendie dans les zones sensibles. On comprend donc que, dans bien des cas, les forestiers doivent intervenir



Équipe MGVF, INRA



Pôle R&amp;D de Compiègne, ONF

Fig. 1 : fougère en sous-bois ; fougère haute, en plein découvert

pour contrôler le développement de la fougère aigle et permettre une installation rapide et une croissance soutenue des plants.

L'apparition des herbicides en forêt, à la fin des années 70, a fourni pour ces situations difficiles un moyen de contrôle efficace et bien moins onéreux que les dégagements à répétition qui s'imposaient auparavant pour maîtriser la fougère. Le traitement à l'asulame, un herbicide sélectif, a été en particulier utilisé avec succès pendant près de 3 décennies (voir encadré 1).

Mais aujourd'hui, le contexte général de réduction des produits phytopharmaceutiques (plan Ecophyto 2018)<sup>1</sup> se traduit, en particulier pour les plantations forestières, par la nécessité de concevoir de nouveaux itinéraires techniques « sans herbicide ». Le recours aux herbicides doit être réservé « aux seules situations dans lesquelles aucune autre technique ne peut être mise en œuvre dans des conditions économiques satisfaisantes pour le propriétaire et dès lors qu'aucun dommage pour l'environnement n'est à craindre » (Instruction ONF

du 22 mai 2013 sur l'utilisation des produits chimiques).

En particulier, le retrait du marché de l'asulame, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2013, rend plus insistante encore la nécessité de disposer de techniques alternatives pour contrôler la fougère aigle lorsqu'elle est un obstacle à la réussite des plantations (encadré 2). Cet article présente les premiers résultats obtenus sur un réseau expérimental installé et suivi de manière collaborative par l'équipe MGVF de l'INRA de Nancy, l'ONF et leurs partenaires.

### 1 - Une gestion de la fougère historiquement fondée sur les dégagements et les herbicides dans le Nord-Ouest

Avant l'apparition des herbicides dans la gestion forestière, les gestionnaires confrontés à une concurrence sévère de la fougère réalisaient des dégagements très réguliers pendant les dix années qui suivaient la plantation. Dans le Nord-Ouest, particulièrement concerné, les premiers recours aux herbicides datent des années 70 avec l'utilisation du dichlobénil qui permettait de maîtriser la fougère pendant une année. À partir de 1976, l'asulame a été testé en dégagement avec de très bons résultats (Martin, 1991). Au milieu des années 80, il a été intégré dans la phase « préparation du terrain » de l'itinéraire technique de plantation du chêne en forêts publiques : traitement à l'asulame puis labour en plein. En fin d'hiver, un traitement supplémentaire au dalapon ou au fluzafop-p-butyl était éventuellement appliqué contre les graminées qui se substituaient alors à la fougère éliminée.

Au début des années 90, les itinéraires techniques élaborés permettaient un bon contrôle de la fougère. Néanmoins, une meilleure maîtrise des coûts des travaux préparatoires et d'entretien était encore attendue, en envisageant la suppression de certains travaux. C'est dans cet esprit qu'en 1992 l'ONF a installé dans le Nord-Ouest de la France, en forêt de Lyons (76), une expérimentation suivie par l'équipe R&D de Compiègne (Piat, 2012) : il s'agissait de comparer différents types de travaux préparatoires à la plantation, pour une plantation de chêne sessile située en contexte de fougère bloquante. Deux types de travaux préparatoires ont été comparés :

- modalité H « Herbicide » : traitement de préparation au glyphosate l'été précédant la plantation,
- modalité C « Combinée » : idem Herbicide puis labour complet du terrain en début d'automne au pulvérisateur à disques lourd suivi d'un émiettement au cover-crop.

Dans chacune des modalités, des dégagements ont été réalisés par la suite pour contrôler la compétition exercée par la végétation sur les plants. Chaque dégagement a été programmé en fonction du développement de la végétation dans chaque modalité, et dûment consigné. L'expérimentation a été suivie de 1992 à 2000, de la plantation à la sortie de la période de compétition avec la fougère.

Le test ne comportait pas de modalité « Témoin sans intervention » car la forte mortalité et la croissance réduite des plants en l'absence d'intervention étaient attestées par les gestionnaires normands. De même, il n'y avait pas de modalité impliquant la mise en œuvre d'un traitement mécanique seul, car le recours aux herbicides, peu coûteux et efficaces, n'était pas remis en cause à l'époque.

Les résultats (tableau) montrent le succès du traitement chimique en préparation avec 78 et 72 % de survie des plants après 8 ans dans les modalités Herbicide et Combinée, respectivement. L'analyse économique a montré que les coûts de mise en œuvre des modalités (hors coût des plants et mise en place) diffèrent fortement : la modalité H est simple et peu coûteuse (500 €/ha, valeur 2012) et la modalité C est plus coûteuse (1 200 €/ha) à cause du labour. Mais il n'y a plus de différence notable quand on considère l'ensemble des travaux réalisés pendant les 8 années de l'étude, avec un coût total de régénération estimé à 1 700 €/ha (hors coût des plants et mise en place) dans les 2 cas. La modalité H, initialement moins coûteuse, a nécessité deux dégagements supplémentaires contre la fougère et les ligneux. D'où l'importance de considérer l'itinéraire dans son ensemble pour évaluer correctement l'efficacité d'une technique et son intérêt économique.

À partir des années 2000, des évolutions rapides ont eu lieu avec le retrait du dalapon (2002), le recours plus fréquent à la régénération naturelle et enfin les réserves émises par les forestiers vis-à-vis du labour des terrains à planter. Depuis, les itinéraires se sont limités à une préparation chimique par application d'asulame, suivie d'un broyage et d'un éventuel sous-solage sur les futures lignes de plantation. Le coût de cette préparation est de 500 €/ha (750 €/ha avec le sous-solage).

Résultats de l'expérimentation	Modalité Herbicide	Modalité Combinée
Survie à 8 ans	78 %	72 %
Diamètre au collet à 8 ans		+ 3 mm / Herbicide
Hauteur totale à 8 ans		+ 33 cm / Herbicide
Plants concurrencés par la fougère en 3 <sup>e</sup> année	11 %	4 %
Plants concurrencés par la fougère en 4 <sup>e</sup> année	22 %	8 %
Nombre de dégagements après plantation	3	1

<sup>1</sup> Lancé en 2008 à la suite du Grenelle de l'Environnement, ce plan vise à réduire progressivement l'utilisation des produits agropharmaceutiques : [http://agriculture.gouv.fr/img/pdf/plan\\_ecophyto\\_2018.pdf](http://agriculture.gouv.fr/img/pdf/plan_ecophyto_2018.pdf)

## 2 - Les difficultés de gestion liées au retrait de l'asulame de la liste des herbicides homologués pour les usages en forêt

L'asulame (spécialités commerciales : Asulox et Fougerox), dont l'homologation a pris fin le 31 décembre 2012, permettait, en une seule application bien réalisée, de contrôler la fougère aigle sur plusieurs années. L'asulame était utilisé principalement en préparation avant régénération, pour un coût compris entre 200 et 400 €/ha selon les situations. Étant relativement sélectif des autres végétaux, il était également utilisé en dégagement après plantation, pour un coût similaire.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2013, le glyphosate est la seule matière active utilisable pour contrôler la fougère en forêt. Il présente un coût et une efficacité similaires à l'asulame. Néanmoins, contrairement à l'asulame, le glyphosate n'est pas sélectif des autres plantes et ne peut donc être appliqué qu'en préparation, avant plantation.

De façon classique, les dégagements mécaniques ou manuels (dont le bâtonnage) peuvent également être utilisés. Le plus souvent, ils doivent être répétés une à deux fois par an pendant plusieurs années, pour un coût total allant de 2 400 à 5 000 /ha.

Le retrait de l'asulame a donc des répercussions importantes sur les coûts de plantation et motive la R&D pour trouver des solutions alternatives aux herbicides, pour le contrôle de la fougère. Par ailleurs, l'ONF participe aux travaux de la Commission sur les Usages Orphelins, qui devrait appuyer le renouvellement de la demande d'autorisation de mise sur le marché de l'asulame en France (usage « forêt, dégagement »). Cette demande doit être faite par la firme détentrice de l'homologation.

## Évaluer des méthodes alternatives aux herbicides : le réseau ALTER

Le projet ALTER (ALternatives aux hERbicides) a été initié en 2009 afin d'évaluer des **méthodes innovantes de contrôle de la végétation, en préparation à la plantation**, qui permettent d'assurer une bonne installation des plants tout en requérant un nombre limité d'interventions en dégagement. Le projet est mené conjointement par l'INRA, l'ONF, FCBA, la Compagnie des Landes, l'ARAA (Association pour la Relance Agronomique en Alsace) et le CRITT RITTMO Agroenvironnement. Les méthodes à évaluer sont basées sur l'utilisation d'outils mécaniques montés sur minipelle. Ces outils, nouvellement développés<sup>2</sup>, permettent d'effectuer des actions combinées sur la végétation et le sol. Par ailleurs, la minipelle, parce qu'elle exerce une pression au sol réduite, est un engin intéressant pour limiter le tassement induit par l'intervention avec l'outil. Le projet se focalise sur deux grands types de végétation forestière bloquante, la molinie et la fougère aigle, mais on ne présentera ici que les résultats obtenus sur la fougère.

Le projet ALTER s'appuie sur un réseau de sites expérimentaux installés dans quatre régions (Alsace, Aquitaine, Normandie, Bretagne) de façon à couvrir une large gamme de conditions pédoclimatiques (figure 2). Dans chaque région, une parcelle présentant une couverture dense et homogène de fougère a été sélectionnée (qu'on désignera dans le reste du texte sous le terme site ou dispositif). Les différentes méthodes de préparation du terrain y ont été mises en œuvre, puis les parcelles ont été plantées en chêne (sessile ou pédonculé, selon la région) et en pin (sylvestre ou laricio ou maritime, selon la région). Les deux essences sont plantées séparément et non en mélange.

Pour chaque site, deux méthodes utilisant des outils montés sur minipelle sont comparées à deux méthodes

« extrêmes » (témoin sans intervention ; suppression complète de la végétation) ainsi qu'à une méthode de référence locale. Le choix de cette dernière est spécifique à chaque région ; *a contrario* les 4 autres méthodes sont communes à l'ensemble des régions.

L'objectif du projet est de caractériser les effets des différentes méthodes, constituant les modalités expérimentales étudiées, sur le développement des plants (survie et croissance), sur la dynamique de la végétation spontanée (composition spécifique, recouvrement) et sur certains paramètres du milieu influençant le développement des plants (compaction du sol, disponibilité en eau, en nutriments et en lumière pour les plants). Un suivi est prévu pendant 5 à 10 ans, de façon à couvrir toute la période d'installation, jusqu'à ce que les plants soient affranchis de la végétation accompagnatrice.

Le site de Normandie (forêt domaniale de Bord-Louviers, 27) a été installé en 2010, avec une année d'avance sur les trois autres sites. Il sera donc privilégié dans la présentation des résultats obtenus.

### L'expérimentation : le dispositif ALTER de Bord-Louviers

Le dispositif de Bord-Louviers a été installé sur un site présentant un sol limono-sableux à forte charge en cailloux (station 422 du catalogue du nord de la Haute-Normandie), en terrain plat. La végétation est très fortement dominée par la fougère. À pleine maturité, la fougère présente une hauteur moyenne de 1,5 m.

Des taches de bouleau étaient présentes et, pour homogénéiser les conditions d'expérimentation dans l'ensemble du dispositif, un traitement préalable contre les ligneux (triclopyr, 960 g/ha) a été réalisé en mai 2010, avant mise en œuvre des modalités. Les cinq modalités

<sup>2</sup> Les outils innovants évalués dans le projet ont été mis au point par l'entrepreneur Claude Becker et sont protégés par brevet.

de contrôle de la végétation et de préparation du sol prévues dans le projet ont été mises en œuvre comme indiqué ci-après (tableau 1).

Les trois modalités de référence :

■ **Témoin** : c'est une situation « extrême » qui correspond à une végétation se développant spontanément. Pas de préparation à la plantation, hormis un broyage de la fougère sèche sur les futures lignes de plantation (sur une largeur de 1 mètre) pour faciliter l'accès des planteurs. Ce broyage n'affecte pas la dynamique de la fougère.

■ **Herbicide** : c'est la méthode de référence locale à Bord-Louviers. En juillet 2010, un traitement à l'asulame (4000 g/ha) a été effectué en plein. Un broyage en plein de la fougère sèche a été réalisé avant la plantation.

■ **Sol Nu** : c'est l'autre situation « extrême », qui correspond à un sol maintenu sans végétation pendant toute la durée de l'expérimentation. En juillet 2010, un traitement à l'asulame (4 000 g/ha) a été effectué en plein. Un broyage en plein de la fougère sèche a été réalisé avant la plantation. En juin 2012, des dégagements manuels sur la ligne et un traitement dirigé au glyphosate (1800 g/ha) ont été réalisés.

Les deux modalités alternatives, utilisant des outils montés sur minipelle (de type Takeushi, TB228, poids : 2,9 T) :

■ **Scarificateur réversible®** (désigné par Scarificateur) : cet outil permet d'extraire la végétation (biomasse aérienne et racinaire) et de travailler le sol jusqu'à une profondeur de 40 cm par piochage, sans retournement des horizons pédologiques. La largeur de la zone travaillée est d'environ 1,5 m. La biomasse arrachée est déposée latéralement à la bande travaillée en petits andains. Ce travail a été réalisé en octobre 2010.

■ **Scarificateur réversible® + 3B®** (désigné par SR+3B) : cette méthode consiste à éliminer préalablement les rhizomes sur une bande de

1,5 m de large au Scarificateur réversible, comme précédemment, pour permettre ensuite, dans un deuxième passage, l'intervention du Sous-soleur multifonction®, pour la confection d'un billon 3 B® (Wehrle, 2009). Cette deuxième opération consiste en un décompactage du sol sur 60 cm de profondeur, et la confection d'un billon de 20 cm de haut à l'aplomb de la zone de sol travaillée. Ce travail a été réalisé en octobre 2010.

Chaque modalité a fait l'objet de trois répétitions, appliquées sur des placettes unitaires de 19 ares. Chaque placette unitaire est constituée d'une zone centrale de mesure comportant 96 plants de chêne et 96 plants de pins, et d'une zone tampon comportant un nombre similaire de plants.

La plantation a eu lieu pendant l'hiver 2010-2011 à la densité de 2200 plants/ha : les pins laricio (plants 1-0 en godet en 200 cm<sup>3</sup>, provenance PLO-VG-001) ont été plantés en novembre 2010 et les chênes sessiles (plants 1S2 en racines nues, provenance QP102) en mars 2011.

Le suivi des plants porte sur l'ensemble des plants de la zone de mesure : chaque année, la survie, la hauteur totale et le diamètre basal des plants sont mesurés (sauf pour le diamètre des pins l'année de plantation, en raison de difficultés techniques pour réaliser la mesure). Le suivi de la végétation se base sur des inventaires floristiques réalisés en septembre de chaque année, sur 171 placeaux permanents de 1 m<sup>2</sup>, centrés sur les lignes de plantation et répartis de façon systématique dans la zone de mesure.

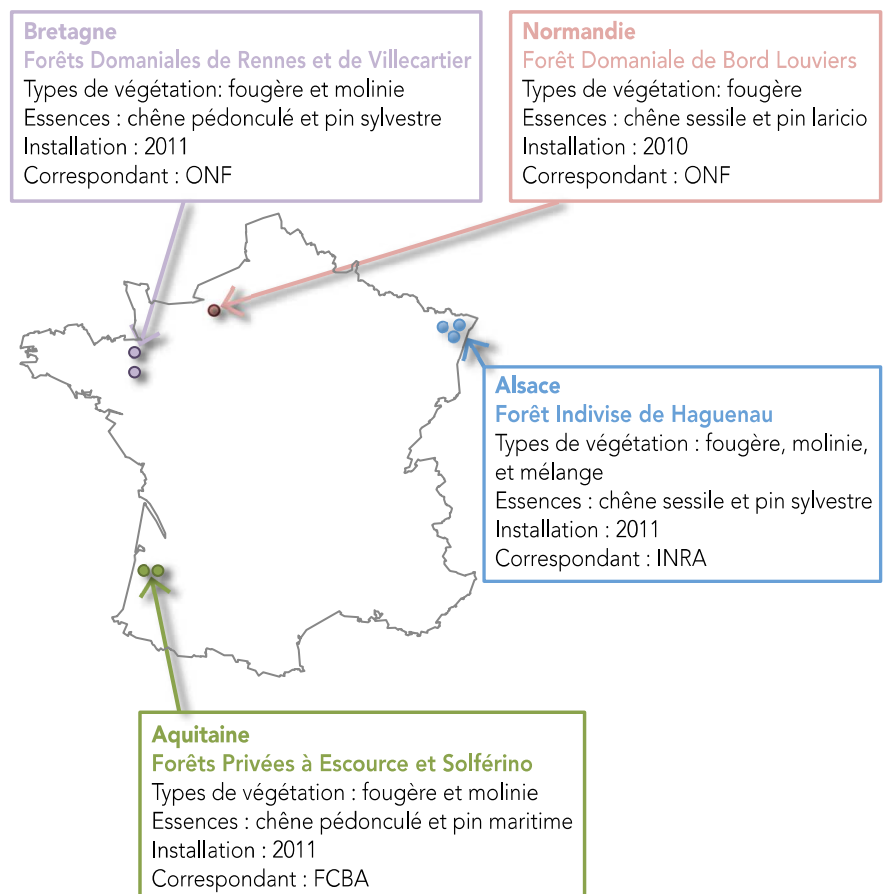


Fig. 2 : réseau expérimental ALTER (Alternatives aux herbicides); sites installés, types de végétation, essences plantées, année de plantation et organisme responsable pour chaque site.

Outil utilisé	État des parcelles immédiatement après intervention	État des parcelles 2 ans après intervention
<p>Modalité Témoin</p> 		
<p>Modalité Herbicide</p> 		
<p>Modalité Sol Nu</p> 		
<p>Modalité Scarificateur réversible</p> 		
<p>Modalité Scarificateur réversible + 3B (SR+3B)</p> 		

Tab. 1 : modalités installées dans le dispositif de Bord-Louviers

## Réponse de la végétation : un contrôle efficace assuré par les méthodes alternatives

### Recouvrement global

Après un an, toutes les modalités -sauf la modalité Témoin-présentaient une réduction significative du recouvrement par la végétation (figure 3). Après deux années, seules les modalités Scarificateur et SR+3B montraient un contrôle de la végétation efficace : le recouvrement de la végétation sur la ligne de plantation y était très faible (inférieur à 20 %). Le retour de la végétation était notamment beaucoup plus rapide dans la modalité utilisant des herbicides (Herbicide) : après deux saisons de végétation, le recouvrement global y était proche de celui du Témoin sans intervention. Il faut également noter que dans la modalité Sol Nu le développement de la végétation en fin d'été a été insuffisamment contrôlé par rapport aux exigences du protocole expérimental.

Dans les sites ALTER des trois autres régions, le recouvrement de la végétation a montré les mêmes tendances après un an : les méthodes Scarificateur et SR+3B ont été très efficaces pour contrôler la végétation alors que le retour de la végétation a été rapide dans les modalités locales, quelle qu'ait été la méthode locale utilisée.

### Composition spécifique

En 2011, un an après l'installation du dispositif de Bord-Louviers, la fougère dominait très largement la végétation spontanée dans toutes les modalités (figure 4). On a néanmoins constaté l'apparition rapide de graminées (canche flexueuse et agrostis) dans les modalités Sol Nu et Herbicide. La ronce était présente à l'état de traces dans toutes les modalités, avec une part plus importante dans Sol Nu et Herbicide. Initialement présentes en sous-étage, ces espèces ont profité de la réduction sélective de la fougère. En revanche, dans les modalités Scarificateur et SR+3B,

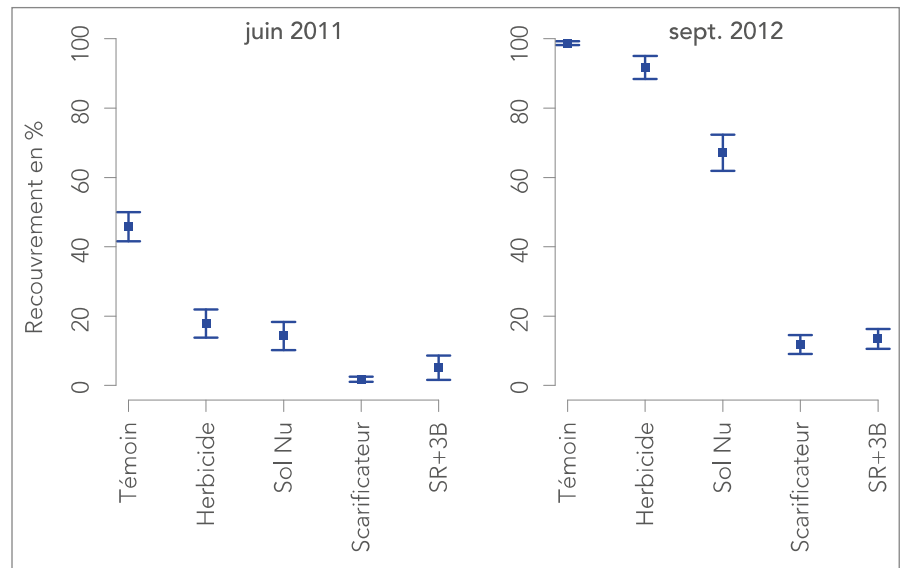


Fig. 3 : recouvrement global de la végétation, dans les différentes modalités du dispositif de Bord-Louviers en 2011 et 2012 (moyenne et écart-type)

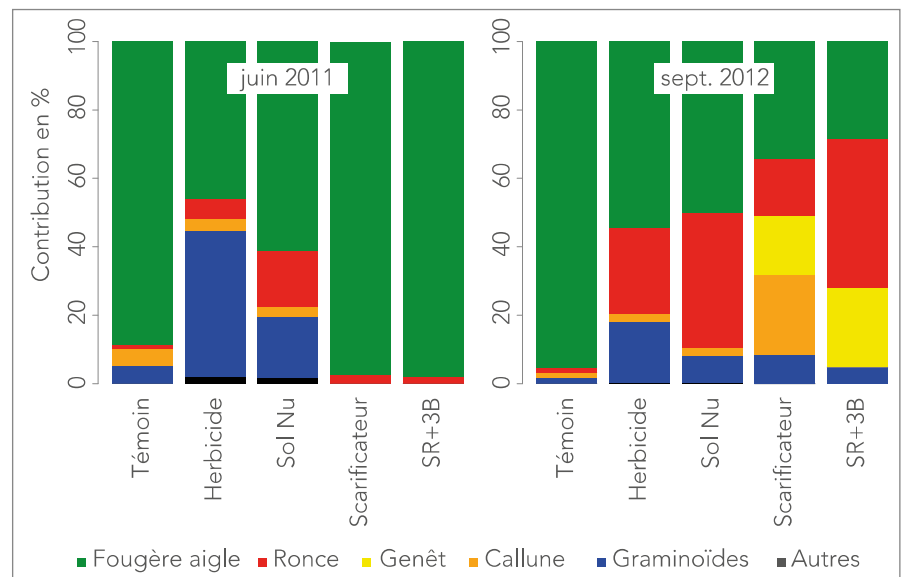


Fig. 4 : contribution des différents groupes d'espèces au recouvrement global, dans les différentes modalités du dispositif de Bord-Louviers en 2011 et 2012

toute la végétation a été détruite, hormis quelques frondes de fougère résiduelles, et les plantes présentes en première année étaient toutes issues de semis nouvellement germés.

En 2012, un développement important de la ronce a eu lieu dans toutes les modalités, sauf dans le Témoin. Le développement des graminées s'est poursuivi. Le genêt est apparu dans les modalités SR+3B et Scarificateur, favorisé par le travail du sol. Le genêt sera intéressant pour l'engainage

ultérieur des plants. De manière générale, dans les modalités SR+3B et Scarificateur, le recouvrement de la fougère est resté limité. L'inversion de flore, au profit de la ronce et des graminées, a permis de limiter le retour de la fougère, plus compétitrice vis-à-vis des plants. Cependant, il faudra gérer cette nouvelle végétation si elle devient trop concurrente.

Sur les autres sites ALTER, la composition spécifique de la végétation spontanée a évolué de façon similaire.

Les méthodes Scarificateur et SR+3B se sont avérées les plus efficaces pour éliminer la fougère et limiter son retour. Il y a eu des inversions de flore d'amplitude variable en fonction de la fertilité des sites et des espèces initialement présentes. Elles se sont faites principalement au profit de la ronce et des éricacées dans les Landes, de la ronce, des graminées et cypéracées en Bretagne, et du raisin d'Amérique (*Phytolacca americana*, espèce invasive) en Alsace.

## Survie des plants : des effets très variables selon les sites

### Une mortalité généralement réduite dans les modalités Scarificateur et SR+3B

À Bord-Louviers, la mortalité des plants après un an était globalement faible, même si de légères différences existaient entre les modalités et entre essences (figure 5). En deuxième année, la mortalité a augmenté et les différences se sont amplifiées. La modalité Témoin présentait la mortalité la plus élevée (16 % pour les chênes et 17 % pour les pins en 2012). Le pourcentage de plants sains y était le plus faible (53 % pour les chênes et 63 % pour les pins en 2012), laissant présager une augmentation plus forte de la mortalité dans cette modalité dans les années à venir, notamment pour les pins.

Pour les chênes, les plants des modalités Scarificateur et Herbicide présentaient le meilleur état sanitaire en 2011 et 2012. En revanche, les modalités SR+3B et Scarificateur étaient les plus favorables aux pins, avec respectivement, 100 % et 97 % de pins sains en 2012. En terme d'état sanitaire, les pins et les chênes n'ont donc pas répondu de la même manière aux modalités, et il reste à tenter de comprendre ces différences.

### Des phénomènes divers d'un site à l'autre

Sur les sites ALTER des 3 autres

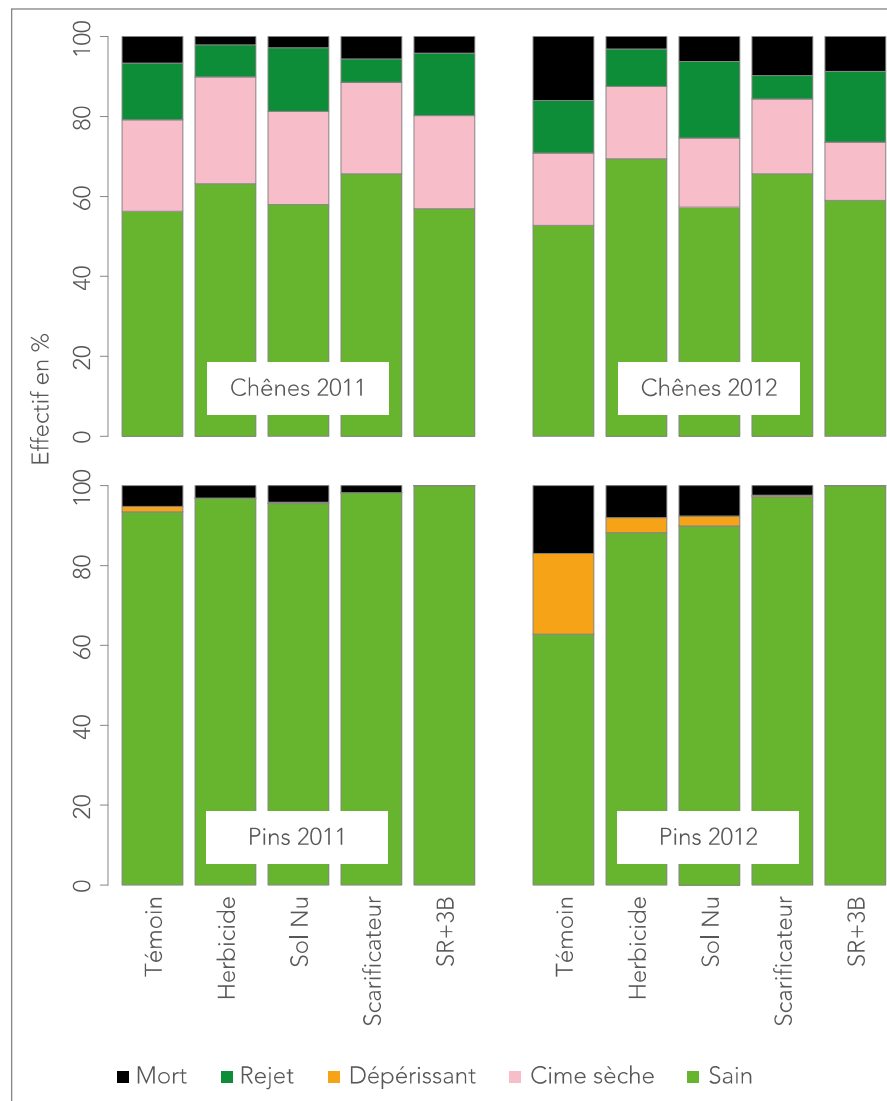


Fig. 5 : état sanitaire des plants dans les différentes modalités du dispositif de Bord-Louviers en 2011 et 2012

régions, les résultats de mortalité en fin de première année étaient fortement contrastés. Ils démontrent la grande sensibilité de la réponse des plants en terme de mortalité aux conditions stationnelles et aux accidents climatiques locaux et ce en interaction avec les méthodes de préparation du terrain.

En Alsace, la mortalité des pins sylvestres était faible (3,5 %) dans toutes les modalités, alors que la mortalité des chênes sessiles était forte et dépendante de la modalité (98, 75, 32, 30 et 57 % dans les modalités SR+3B, Scarificateur, Cover-Crop, Sol Nu et Témoin, respectivement). Cette mortalité particulièrement forte des

chênes dans les modalités SR+3B et Scarificateur a été reliée à l'effet des gels particulièrement intenses qui ont eu lieu durant le premier hiver (2011/2012). Ces modalités ont un effet d'aération du sol qui pourrait accentuer la baisse des températures hivernales dans le sol et augmenter les dégâts sur les systèmes racinaires des plants.

À l'opposé, dans les Landes, c'est dans ces modalités SR+3B et Scarificateur que la mortalité était la plus faible (38, 38, 39, 50, 56 % pour les pins et 65, 71, 72, 92, 95 % pour les chênes dans les modalités SR+3B, Scarificateur, Cover-Crop, Sol Nu et Témoin, respectivement). Dans les

Landes, la mortalité a été attribuée à une sécheresse estivale, dont l'effet serait moins marqué pour les plants des modalités SR+3B, Scarificateur et Cover-Crop qui auraient bénéficié d'un meilleur contrôle de la végétation et d'un meilleur travail du sol en profondeur et auraient ainsi pu développer plus rapidement un système racinaire fonctionnel.

Sur le site de Bretagne, la mortalité des pins sylvestres était très faible dans les modalités Scarificateur et SR+3B et elle était moyenne pour les chênes sessiles. Pour les deux espèces, la mortalité la plus forte était dans la modalité Témoin (1, 1, 13, 7, 35 % pour les pins et 14, 9, 8, 12, 21 % pour les chênes dans les modalités SR+3B, Scarificateur, Cover-Crop, Sol Nu et Témoin, respectivement). Dans ce site, la mortalité a également été attribuée aux effets d'une sécheresse estivale, qui seraient moins marqués dans les modalités avec travail du sol.

### Une interprétation délicate

Ces résultats illustrent la complexité du processus de mortalité et les facteurs multiples qui la déterminent. Ils montrent clairement la difficulté à extrapoler les résultats obtenus dans un site à d'autres sites ou bien à d'autres années climatiques. En prenant les précautions requises pour cette extrapolation, nous pouvons penser que les méthodes Scarificateur et SR+3B semblent, de façon générale, accélérer l'installation des plants (probablement en raison d'une installation du système racinaire facilitée par le travail du sol) et réduire la mortalité initiale. Néanmoins, dans certaines situations, notamment en cas de gels hivernaux en période de sensibilité des plants (exemple des chênes dans le site d'Alsace), ces techniques peuvent au contraire accentuer la mortalité. Il s'agit maintenant, dans un futur proche, de bien identifier les conditions dans lesquelles ces méthodes peuvent s'avérer négatives pour les plants.

### Croissance des plants : un effet très positif des méthodes alternatives

La figure 6 présente les résultats de croissance des plants de 2010 à 2012 à Bord-Louvières. L'analyse est cependant restreinte aux résultats de la deuxième année de croissance. En effet : sur les chênes, de façon classique, les descentes de cimes et les tiges relais issues de rejets, qui ne préjugent pas de la croissance ultérieure, perturbent l'interprétation des mesures de croissance en première année. Pour les pins, le diamètre n'a pas pu être mesuré à la plantation.

Pour chacune des deux espèces, les hauteurs et les diamètres moyens les plus élevés étaient dans les modalités SR+3B et Scarificateur, et les plus faibles dans la modalité Témoin. La hauteur des plants des modalités SR+3B et Scarificateur était supérieure à celle des plants Témoin, respectivement de +23 % et

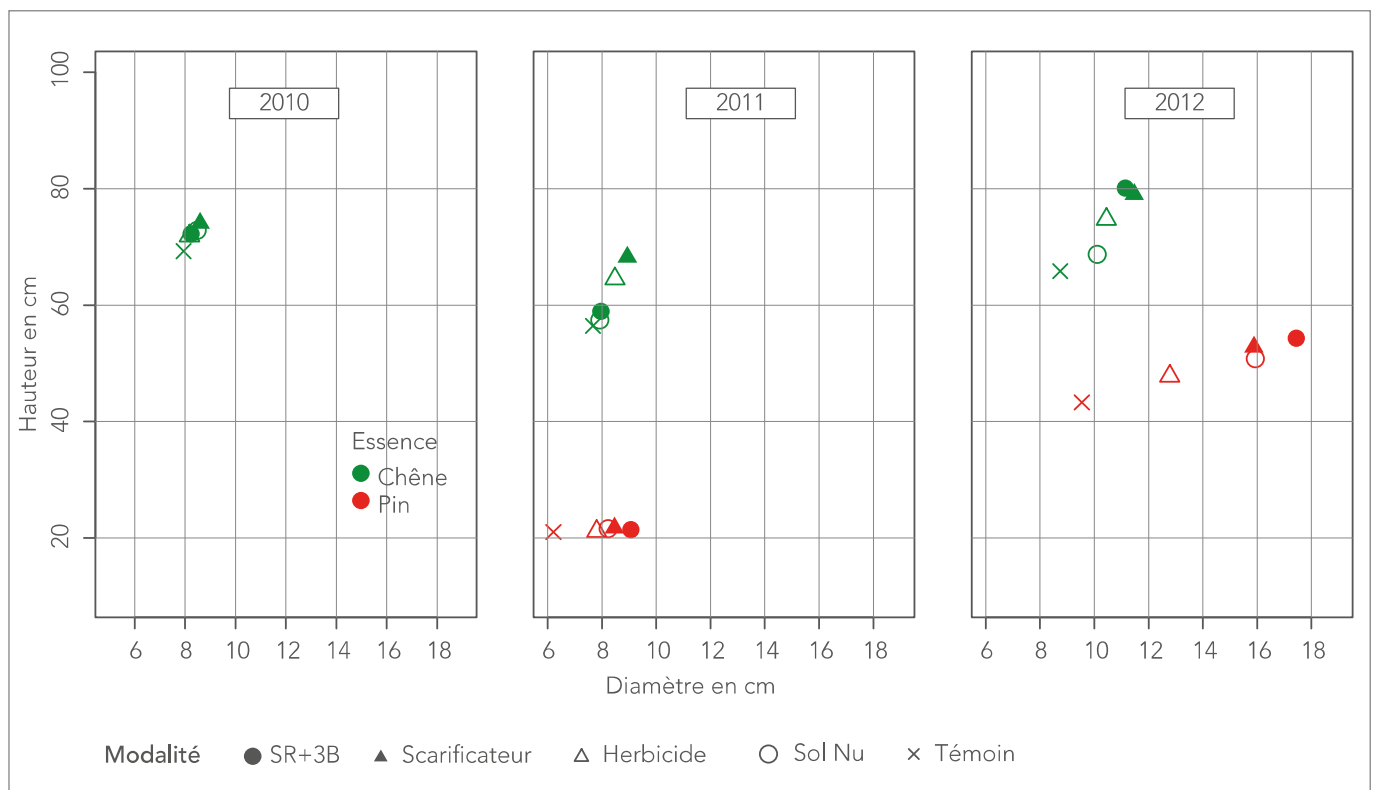


Fig. 6 : dimensions des chênes et des pins dans les différentes modalités du dispositif de Bord-Louvières en 2010, 2011 et 2012, pour les plants sains, ou avec cime sèche ou issus d'une tige relais. Le diamètre des pins n'a pas été mesuré en 2010.



+11 % pour les chênes, et de +26 % et +24 % pour les pins. Les mêmes tendances ont été observées pour le diamètre avec, respectivement, +27 % et +20 % pour les chênes et +83 % et +67 % pour les pins.

Une à deux années supplémentaires seront nécessaires pour pouvoir analyser les résultats de croissance des plants sur les autres sites ALTER, et les comparer à ceux obtenus à Bord-Louviers.

## Des méthodes alternatives qui limitent les dégagements

À Bord-Louviers, deux ans après la plantation, la méthode SR+3B a donné des résultats équivalents à ceux de la méthode Scarificateur en terme de survie, de croissance des plants et de dynamique de réinstallation de la fougère; la méthode Scarificateur, avec un seul passage d'engin, apparaît donc à ce stade la plus intéressante du point de vue technique et économique. À partir de ces résultats, une étude préliminaire a été réalisée afin de comparer l'intérêt économique d'un itinéraire de régénération artificielle qui utiliserait le Scarificateur, par rapport à un itinéraire avec une préparation minimale du terrain (broyage des bandes de plantation, pas de travail du sol, pas d'herbicide – voir tableau 2). En effet, ce deuxième itinéraire pourrait se généraliser avec le retrait de l'asulame.

## Évaluer les itinéraires complets, en tâches et en coûts

La comparaison intègre l'ensemble des interventions depuis la préparation du terrain jusqu'à un stade où la plantation est considérée comme acquise (plants affranchis de la concurrence de la fougère) et prend donc en compte l'ensemble des dégagements jugés nécessaires sur la période. Les coûts unitaires des opérations sont indiqués dans le tableau 2. Ils ont été estimés à partir du référentiel de travaux sylvicoles 2012 de la direction territoriale

Itinéraire avec préparation minimale	Itinéraire avec Scarificateur réversible
- Broyage des bandes de plantation : 186 €/ha	- Pas de broyage
- Pas de travail du sol	- Râteau scarificateur : 0,75 €/m linéaire
- Mise en place des plants : 0,72 €/plant	- Mise en place des plants : 0,53 €/plant
- Coût d'un dégagement : 569 €/ha	- Pas de dégagement

Tab. 2 : coûts unitaires des différentes opérations, utilisés pour le chiffrage de l'itinéraire avec Scarificateur réversible et de l'itinéraire avec une préparation minimale du terrain

Guide biogéographique des sylvicultures	Système de plantation	Écartement moyen entre lignes	Nombre de plants/ha	Nombre seuil de dégagements
Guide des chênaies continentales	Avec recru - une ligne par bande	4,5 m	1 100	3
	Avec recru - deux lignes par bande	3,3 m	1 100	4
	Sans recru - une ligne par bande	4,5 m	1 500	3
Guide de la chênaie atlantique	Avec accompagnement ligneux	3,0 m	1 650	4
	Sans accompagnement ligneux	2,0 m	2 500	6
Guide des pineraies de plaine	Pin sylvestre avec cloiso. exploitation	2,5 m	2 500	5
	Pin sylvestre sans cloiso. exploitation	2,0 m	2 500	6
	Pin laricio avec cloiso. exploitation	2,8 m	1 600	5
	Pin laricio sans cloiso. exploitation	2,5 m	1 600	5
	Pin maritime	4,0 m	1 250	3

Tab. 3 : nombre seuil de dégagements à réaliser dans l'itinéraire avec préparation minimale, au delà duquel l'itinéraire avec Scarificateur réversible est plus intéressant économiquement

ONF Ile-de-France Nord-Ouest et de données communiquées par les Pépinières Crété à Guibermesnil (80).

Ces deux itinéraires sont appliqués pour différents schémas de plantation recommandés dans les guides sylvicoles de plaine (tableau 3). Les coûts totaux des itinéraires varient selon le nombre et la densité des plants installés. Dans les principaux contextes de plantation de chênes et de pins, les simulations de coûts montrent que l'itinéraire avec Scarificateur est plus économique que l'itinéraire sans aucune préparation s'il permet d'éviter au moins 3 à 6 dégagements selon le schéma de plantation.

Cette cible est tout à fait réaliste. En effet, le suivi du développement de la végétation dans les différentes modalités du site expérimental de Bord-Louviers a permis d'effectuer des diagnostics quant aux besoins en dégagements de la fougère, au cours des trois années après la plantation. Dans la modalité Scarificateur, aucun dégagement ne s'est avéré nécessaire. En revanche, si la fougère n'est pas contrôlée au départ, il est impératif de réaliser deux dégagements par an après la plantation, pour assurer le bon développement des plants. L'itinéraire avec Scarificateur a donc permis d'éviter six dégagements au cours des trois premières années.

Cette technique a également pour conséquence de réduire le coût de mise en place des plants (tableau 2).

Dans une station sur sol limono-sableux où la fougère est très compétitive, comme dans le dispositif de Bord-Louviers, les itinéraires de préparation à l'aide d'un Scarificateur réversible peuvent donc s'avérer économiquement intéressants.

### Une approche à poursuivre, avec l'amélioration des outils

Le modèle de Scarificateur réversible® utilisé à Bord-Louviers était un prototype. Des modifications techniques, qui améliorent son efficacité et son coût de mise en œuvre, ont été apportées depuis.

Par ailleurs, la méthode 3B, qui a été testée à Bord-Louviers en combinaison avec le Scarificateur réversible mais qui est plus particulièrement adaptée à des stations à hydromorphie temporaire, donne également de bons résultats sur ces stations (observations issues des autres sites du réseau ALTER). L'évaluation de l'intérêt économique de la méthode 3B nécessite l'acquisition de données supplémentaires sur la croissance des plants dans ces contextes stationnels. Comme pour le Scarificateur, l'outil (Sous-soleur multifonction®) testé dans le réseau ALTER a été perfectionné depuis. D'autres innovations techniques ont également vu le jour : dans le cadre d'une convention de partenariat de R&D entre la société Grenier-Franco et l'ONF, un nouvel outil tracté constitué d'une dent de sous-solage associée à des disques pour créer un billon a été développé, le Culti-3B® (voir Ulrich *et al.*, dans ce numéro). Cet outil permet de réduire significativement le temps de travail par rapport au Sous-soleur multifonction® utilisé pour la méthode 3B). L'étude de ces nouveaux outils et de leur efficacité est l'objet du projet PILOTE (encadré 3).

### 3 - Projet PILOTE : les travaux préparatoires à la plantation Installation d'un réseau de chantiers pilotes pour développer et promouvoir des outils innovants

Le projet PILOTE a été construit dans la continuité du projet ALTER, qu'il complète sur les points suivants :

- Test d'une gamme plus large d'outils mécaniques, notamment des outils tractés montés sur tracteur forestier et de nouveaux outils montés sur mini-pelle. Tous ces outils sont des outils nouvellement développés et actuellement en cours d'évaluation. Des techniques de contrôle de la végétation par amendement minéral seront également étudiées.
- Mise en œuvre des outils sur une gamme plus large de conditions stationnelles (type de sol, type de végétation dominante), permettant de définir le domaine d'application des outils testés.
- Évaluation de la productivité horaire des différents outils, permettant une estimation de leur coût de mise en œuvre.
- Suivi des plantations et identification des interventions nécessaires pendant les 10 années qui suivent la plantation, permettant une intégration des différents outils dans des itinéraires techniques complets.

Le projet PILOTE se base sur la mise en place d'un réseau national de chantiers de plantation, initié en 2013. Les sites choisis correspondent à des situations (conditions stationnelles et historique de gestion) constituant des enjeux au niveau national : elles représentent des surfaces importantes et elles sont reconnues comme contextes difficiles pour les plantations (taux d'échec important ou coûts d'installation élevés). Dans chaque site, plusieurs méthodes adaptées aux conditions locales sont testées et comparées.

Le projet PILOTE, porté par l'équipe MGVF de l'INRA de Nancy, est conduit en partenariat avec des équipes de l'ONF (pôles R&D de Boigny, Compiègne, Dôle et Fontainebleau), la Société Forestière de la CDC, du FCBA, de la Forêt Privée Française, et d'Alliance-Forêts Bois. Le projet reçoit actuellement le soutien financier de l'ONF, du MAAF, du RMT AFORCE et de l'INRA.

### En résumé, et pour conclure

Le Scarificateur réversible® est un outil efficace pour contrôler la fougère aigle à près de 100 % pendant les trois années qui suivent la plantation. Ce type de préparation a conduit à des inversions de flore au profit de la ronce et des graminées, moins gênantes que la fougère pour les jeunes plants mais dont il faudra maîtriser le développement ultérieur. Ces résultats sur le contrôle de la fougère ont été observés sur tous les sites du réseau ALTER. La reprise des plants répond différemment aux interventions testées, selon les sites d'étude. De nombreux facteurs qu'il conviendra d'étudier entrent en effet en jeu (sécheresse, ennoyage, herbivorie). La mise en œuvre de la méthode 3B et du Scarificateur réversible® a permis une amélioration

significative de la croissance des plants après 2 ans à Bord-Louviers. Les autres sites du réseau ALTER sont d'installation trop récente pour fournir des résultats sur la croissance des plants.

Des fiches techniques présentant les outils, leur mise en œuvre leur contexte d'utilisation sont disponibles auprès des auteurs. Par ailleurs, la formation des opérateurs à l'application de ces nouvelles méthodes est un point crucial de leur mise en œuvre.

D'un point de vue économique, l'utilisation du Scarificateur réversible permet, dans le cas de Bord-Louviers, d'éviter au moins six dégagements. Cette réduction du nombre d'interventions s'avère économiquement intéressante. Une évaluation technico-économique de différents

outils, intégrés dans des itinéraires techniques complets, permettra de mieux déterminer les conditions dans lesquelles chaque outil ou technique est pertinent. C'est l'objectif du futur projet PILOTE qui servira à consolider ces premiers résultats et mettra à disposition des gestionnaires des sites de démonstration et de vulgarisation de ces itinéraires.

**Xavier AUZURET**  
INRA, UMR1092 LERFoB,  
54280 Champenoux

**Gwénaëlle GIBAUD**  
**Jérôme PIAT**

ONF, Département R&D  
Pôle de Compiègne  
prenom.nom@onf.fr

**Catherine COLLET**  
**Léon WEHRLÉN**  
INRA, UMR1092 LERFoB,  
54280 Champenoux  
prenom.nom@nancy.inra.fr

**Claudine RICHTER**  
**Quentin GIRARD**  
ONF, Département R&D  
Pôles Fontainebleau, Boigny

**Jean-Yves FRAYSSE**  
FCBA, Station Sud-Ouest

## Remerciements

Les équipes remercient l'ensemble des personnels de terrain pour leur appui à l'installation des dispositifs et leur contribution active au suivi des sites. Le projet ALTER a bénéficié du soutien financier de l'ONF (Conventions cadre de R&D ONF-INRA), du Ministère en charge de l'Agriculture (conventions E30/07, E13/2010, E16/2011) et de la Région Alsace (convention 871-10-C1).

## Bibliographie

Auzuret X., Wehrén L., 2012. Lutte contre la fougère aigle : l'Asulame disparaît... ! Forêt Entreprise, n° 204, pp.46-49

Brethes A., 1984. Catalogue des stations forestières du Nord de la Haute-Normandie, 433 p.

Dolling A.H.U., 1996. Interference of bracken (*Pteridium aquilinum* L. Kuhn) with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) seedling establishment. Forest Ecology and Management, vol. 88, n° 3, pp. 227-235

Dumas Y., 2002. Que savons-nous de la Fougère aigle ? Revue Forestière Française, vol. 54, n° 4, pp. 357-374

Gama A. et al., 2006. Utilisation des herbicides en forêt et gestion durable. Éditions QUAE, 319 p.

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. Application à la régénération du pin sylvestre en peuplement mélangé chêne sessile – pin sylvestre. Thèse Université d'Orléans, 194 p.

Gaudio N., Balandier P., Dumas Y., Ginisty C., 2011. Régénération naturelle du pin sylvestre sous couvert : contrainte de la végétation monopolistique du sous-bois en milieu acide. Rendez-Vous Techniques, n° 33-34, pp. 18-24

Martin Y., 1991. Utilisation des phytocides dans les reboisements feuillus en forêt domaniale de Lyons. Bulletin Technique de l'ONF, n° 21, pp. 177-189

Piat J., 2012. Comparaison de types de préparation de terrain à la plantation de Chêne sessile, compte-rendu final d'expérimentation. ONF, pôle R&D Compiègne, 14 p.

Wehrén L., 2009. Mieux planter ! La technique « 3B » élimine la végétation et décompacte le sol en une seule opération. Rendez-Vous Techniques, n° 25, pp.7-12



Ligne de chênes 2 ans après passage du Scarificateur Réversible

Équipe MGVF, INRA