

**PILOTE : Evaluation de nouvelles techniques de plantation  
limitant la concurrence pour l'eau  
en prévision de conditions futures plus sèches**

**Rapport final  
de la convention INRA - AFORCE du 24 Juillet 2013**

**Financements et co-financements :**

**AFORCE**  
RMT Adaptation des forêts  
au changement climatique



**Participants :**



**Décembre 2013**

## Enjeux et objectifs du projet

Face aux changements globaux annoncés, le système de la plantation forestière s'annonce comme un outil majeur d'adaptation des forêts. Il permet notamment la substitution d'essence ou l'introduction de nouvelles provenances, qui seraient mieux adaptées aux conditions climatiques futures ou plus en adéquation avec les besoins de la filière. Il permet également de renouveler les peuplements fortement endommagés (tempête, dépérissement, ravageurs), qui représentent des surfaces potentiellement importantes.

Lors de la réalisation des plantations, une attention particulière doit être portée aux travaux préparatoires, qui permettent de réduire certaines contraintes liées aux caractéristiques du sol et au développement de la végétation spontanée et d'améliorer ainsi significativement la réussite des plantations. En effet, il a été montré que ces contraintes sont à l'origine d'une part importante des échecs de plantation.

La végétation spontanée exerce une compétition pour les ressources du milieu, notamment pour l'eau, qui est très préjudiciable aux jeunes plants. Ces effets négatifs sont particulièrement marqués dans les stations caractérisées par des sécheresses estivales, et ils sont accentués par toutes les contraintes édaphiques qui limitent l'installation des systèmes racinaires (notamment compaction et hydromorphie des sols). Dans un contexte futur où les épisodes de sécheresse estivale et les épisodes d'hydromorphie hivernale seront plus prononcés, il est attendu que ces effets prennent encore plus d'importance et il paraît donc nécessaire de développer des méthodes efficaces, combinant travail du sol et contrôle de la végétation, pour réduire ces effets.

L'objectif du projet est de développer et évaluer des méthodes innovantes de préparation des sites avant plantation. Le projet se focalise sur des méthodes mécaniques. Différents outils ont récemment été mis au point ou sont en cours de développement. Le projet vise à assurer les développements techniques nécessaires et à effectuer une évaluation technico-économique de ces outils. Les objectifs spécifiques du projet sont :

1. Délimiter le champ d'application des méthodes (conditions stationnelles et objectifs de gestion) et les intégrer dans des itinéraires techniques de plantation.
2. Estimer la productivité horaire et les coûts de mise en œuvre des méthodes.
3. Elaborer des outils d'aide à la mise en œuvre de ces méthodes, à destination des gestionnaires forestiers et des entreprises de travaux forestiers.
4. Réaliser une animation scientifique et technique ciblant l'ensemble des acteurs de la filière forestière.

## Comité de suivi / Collaboration R&D

Le projet se base sur une collaboration étroite entre des équipes de R&D (INRA, ONF, FCBA) et des équipes de gestion (ONF, SF, Alliance Forêts Bois) et des concepteurs d'outils (Entreprise Becker). L'ensemble des équipes interviennent dans l'élaboration des objectifs et des protocoles, ainsi que dans la réalisation technique des expérimentations.

Le comité de pilotage comporte, outre les participants et les financeurs, un représentant de l'UCFF (coopératives forestières) et un représentant des EdT (entrepreneurs forestiers). Le comité s'est réuni en février 2013 lors la mise en route du projet, pour préciser les contours du projet et définir les grandes lignes de la méthodologie mise en œuvre. Une prochaine réunion est prévue en février 2014.

Le choix des sites d'études, des méthodes testées, l'élaboration des protocoles d'installation et de suivi des dispositifs ont nécessité des échanges très fréquents entre les différentes équipes du projet.

## Démarche générale et méthodes mises en œuvre

Le projet repose sur une approche expérimentale. Il se base sur un réseau de chantiers de plantation pilotes couvrant plusieurs régions en France. Les chantiers seront installés dans des contextes stationnels reconnus comme posant des difficultés d'installation de plantation : excès ou déficit en eau, sol fortement compacté, végétation spontanée bloquante ou difficile à contrôler. L'approche en réseau permet d'aborder une large gamme de situations (conditions stationnelles, historique de gestion, contraintes et objectifs de gestion), permettant ainsi de bien appréhender les possibles convergences ou divergences de résultats sur l'ensemble des régions couvertes.

Les dispositifs -ou chantiers pilotes- sont des chantiers de plantation en conditions réelles qui permettent de collecter des données techniques et économiques nécessaires au développement de méthodes innovantes.

Chaque site couvre une surface de 4 à 8 ha, et permet d'évaluer plusieurs outils. La durée totale prévue est de 6 à 10 ans pour chaque site établi, en fonction de la rapidité de l'installation de la plantation. L'objectif est de couvrir la période allant jusqu'à l'acquisition effective de la plantation ( $H > 3$  m) et, sur cette période, d'évaluer l'impact des méthodes préparatoires testées sur la suite des interventions pratiquées, pour ensuite pouvoir intégrer ces méthodes dans des itinéraires techniques complets.

Tous les chantiers pilotes installés serviront de support pour des actions d'animation et de formation organisées par les partenaires dans les différentes régions. Ces actions sont prévues pour s'étaler sur la durée totale du projet (10 ans).

## Déroulement du projet

En 2013, le travail a consisté à préciser les objectifs du projet, à effectuer une série de choix techniques quant aux outils à tester, aux facteurs à prendre explicitement en compte dans l'analyse ou bien à contrôler, au type de dispositifs expérimentaux à installer et aux mesures à effectuer, et à lancer l'installation des sites. Des protocoles communs pour l'installation et le suivi des sites et pour la réalisation des mesures ont été élaborés et une première série de sites d'étude a été sélectionnée. Les choix effectués et les protocoles sont détaillés dans l'annexe 1.

En 2013, cinq dispositifs expérimentaux ont été lancés :

1. **Forêt de l'Abbaye à Frétigney-et-Velloreille (70)**. La forêt est gérée par la SF, et le dispositif expérimental est conduit par MGVF.

Le site se trouve sur un sol limono-argileux profond qui présente un tassement et, localement, des contraintes d'hydromorphie. La végétation spontanée abondante est constituée d'un mélange de ligneux, de dicotylédones herbacées et de graminées. L'essence plantée est le douglas. Les modalités installées sont : le sous-soleur multifonction® (mini-pelle, travail en potet), le culti-3B®, la charrue bidisque motorisée®, un sous-soleur classique, et un témoin sans intervention. Toutes les opérations de préparation du site ont été réalisées, exceptée la charrue bi-disque (en raison et de l'état des sols suite à une pluviométrie abondante). Cette dernière opération sera réalisée au printemps 2014. La plantation est prévue au printemps 2014.

2. **Forêt Domaniale de Chaux (39)**. La forêt et le dispositif sont gérés par l'ONF.

Les sols sont acides et limoneux, et présentent un engorgement temporaire marqué. La végétation bloquante est la molinie. L'essence plantée est le chêne sessile. Les modalités installées sont : le Razherb® (mini-pelle), le Razherb® suivi du sous-soleur

multifonction (travail en ligne technique 3B), le Razherb® suivi du culti-3B®, le Meri Crusher® suivi du culti-3B®, et un témoin sans intervention. Des niveaux d'amendement calco-magnésien (fort, faible, absent) sont croisés avec les modalités de travail du sol. Toutes les opérations de préparation du site ont été réalisées en 2013. L'amendement et la plantation sont prévus au printemps 2014.

3. **Forêt Domaniale de Fontainebleau (77).** La forêt et le dispositif sont gérés par l'ONF.

Le sol sableux est très sec, avec une végétation mélangée composée de calamagrostis, fougère aigle, ronce et ligneux. L'essence plantée est le chêne sessile. Les modalités installées sont : le Razherb® suivi d'un sous-soleur classique, le Scarificateur Réversible® (mini-pelle), la charrue bidisque motorisée®, un sous-soleur classique, et un témoin sans intervention. Toutes les opérations de préparation du site et de plantation ont été réalisées en 2013.

4. **Forêt Domaniale de Compiègne (60).** La forêt et les dispositifs sont gérés par l'ONF.

Deux sites ont été sélectionnés dans cette forêt. Le premier site est caractérisé par une végétation de calamagrostis sur la totalité de la surface, et le deuxième site par un mélange de graminées (principalement houlque molle et brachypode des bois). Le sol est sablo-limoneux et sec. L'essence plantée est le chêne sessile. Les modalités installées sur les deux sites sont : le Razherb® suivi d'un sous-soleur classique, le sous-soleur multifonction® (travail en ligne technique à plat), la charrue bidisque motorisée®, un sous-soleur classique, et un témoin sans intervention. Toutes les opérations de préparation du site et de plantation ont été réalisées en 2013.

5. **Forêt Domaniale de Bord-Louviers (76).** La forêt et les dispositifs sont gérés par l'ONF.

Le site présente des sols limono-sableux et tassés avec de la fougère aigle très haute. L'essence plantée est le chêne sessile. Les modalités installées sont : le Scarificateur Réversible® avec deux largeurs de bande travaillée (1,5 et 2 m), le culti-3B®, la charrue bidisque motorisée®, un sous-soleur classique, et un témoin sans intervention. Toutes les opérations de préparation du site et de plantation ont été réalisées en 2013.

Sur l'ensemble des sites, toutes les opérations de préparation et de plantation réalisées ont été chronométrées.

## Résultats et publications

Une première série de cinq sites est bientôt disponible. Ces sites seront ouverts et accessibles sur demande auprès du responsable de chaque site, pour des activités de formation ou de démonstration, ou pour des collaborations sur des problématiques scientifiques ou techniques.

Un protocole pour l'installation de nouveaux sites, issu des discussions qui se sont tenues dans le cadre du projet, est fourni en annexe. Il détaille des choix techniques effectués pour monter le réseau de dispositifs, ainsi que le protocole pour l'installation et le suivi des dispositifs expérimentaux et pour les mesures à réaliser.

Même si les dispositifs n'ont pour l'instant pas produit de résultats concernant la mise en œuvre et l'efficacité des différentes méthodes testées, nous avons réuni les connaissances déjà acquises sur certains outils pour concevoir des fiches techniques présentant les outils. Les fiches sont destinées à l'usage des utilisateurs des outils et des prescripteurs (donneurs d'ordre). Ces fiches seront disponibles en version électronique sur les sites web des



partenaires du projet. Des exemplaires papier pourront être imprimés et distribués lors de journées d'échange scientifique et technique organisées par les partenaires du projet. Chaque fiche présente un outil, ses impacts et ses coûts. Elle détaille le champ d'application de l'outil et sa mise en œuvre sur le terrain. Ces fiches seront ensuite mises à jour, au fur et à mesure de l'avancement du projet et de l'acquisition des résultats. Cinq fiches seront disponibles d'ici la fin de l'hiver 2013/2014, sur les outils suivants : mini-pelle, Scarificateur Réversible, Sous-soleur multi-fonction, Culti-3B, Charrue bidisque motorisée.

## Conclusions et perspectives

Ce projet, initié en 2013 grâce au financement AFORCE, est prévu pour durer une dizaine d'années. A l'issue du projet, l'évaluation technico-économique d'une gamme d'outils pour préparer les sites sera disponible. Cette évaluation portera sur la mise en œuvre de l'outil proprement dite, mais aussi sur l'intégration de cette opération dans des itinéraires techniques complets s'étalant sur 8 à 10 ans. Cette intégration nécessite de bien évaluer l'impact de l'outil sur le déroulement des interventions après plantation (principalement des dégagements).

Un objectif central de ce projet est le transfert rapide des connaissances acquises vers les professionnels. Les sites installés serviront de base pour ces activités de transfert, qui débiteront dès 2014.

Nous avons prévu d'installer de nouveaux sites, d'une part, pour inclure des conditions stationnelles non prises en compte dans les sites actuels et, d'autre part, pour disposer d'une distribution géographique plus étendue et pouvoir ensuite assurer des activités de transfert dans différentes régions forestières en France.

Des demandes de financement complémentaire pour soutenir le projet dans la durée ont été déposées dans différents appels à projets. D'autres demandes sont en cours d'élaboration.

Le lancement du projet a permis d'asseoir des collaborations inédites entre équipes de R&D (INRA, ONF, FCBA), gestionnaires de forêt publique (ONF) et privée (SF, Alliance Forêts Bois), des concepteurs et des constructeurs d'outils (Entreprises Becker et Grenier-Franco) et des entrepreneurs de travaux forestiers (4 entreprises). Cette collaboration nous a paru pour l'instant très fructueuse, et très motivante pour l'ensemble des participants.

## Listes des annexes

Annexe 1 : Procotole pour l’installation et le suivi des sites expérimentaux

Annexe 2 : Fiche outil mini-pelle

Annexe 3 : Fiche outil Scarificateur réversible®

Annexe 4 : Fiche outil Sous-soleur multifonction®

## Annexe 1

**Procotole pour l'installation et le suivi des sites  
expérimentaux**

**Annexe 1 : Procotole sites expérimentaux**

# Projet PILOTE

## Les travaux préparatoires à la plantation : Installation d'un réseau de chantiers pilotes pour développer et promouvoir des outils innovants

### Procotole pour l'installation et le suivi des sites expérimentaux

Version du 15 Décembre 2013

Rédacteurs : Catherine Collet, Fabien Duez, Gwénaelle Gibaud, Jérôme Piat, Erwin Ulrich.

Ce protocole décrit les opérations pour l'installation des sites et pour un suivi minimal à effectuer. D'autres mesures plus spécifiques peuvent être envisagées sur chaque site et s'ajouter à ce protocole de base.

#### Objectif du projet

L'objectif général du projet est d'effectuer, par une approche expérimentale, une évaluation technico-économique de différentes méthodes de préparation du site avant plantation et d'assurer une diffusion rapide des résultats du projet au sein de la profession. Les dispositifs installés servent à atteindre ce double objectif, d'expérimentation et de communication.

Le projet se base sur un réseau de dispositifs expérimentaux installés dans différentes régions. L'installation se fait de façon progressive, sur plusieurs années.

Les méthodes de préparation du site prises en compte sont des méthodes innovantes, qui permettent de travailler le sol et contrôler la végétation, de façon à lever ces contraintes dans toutes les situations où elles empêchent l'installation rapide des plants.

#### Choix techniques généraux

##### *Gestion des sites*

Les dispositifs sont installés dans des parcelles en gestion courante. Cette gestion se poursuit après l'installation des dispositifs.

Les choix expérimentaux doivent respecter les choix du gestionnaire, notamment en terme d'essence installée, de densité de plants et de protection contre les herbivores.

Il est prévu de suivre les dispositifs sur une durée de 10 ans. Une convention doit être établie lors de l'installation, fixant les obligations des participants au projet et du propriétaire des parcelles. Le propriétaire doit notamment s'engager à laisser l'accès aux sites pour les

activités expérimentales et les activités de démonstration organisées par les participants au projet. La convention doit préciser la répartition des coûts d'installation et de suivi entre les signataires et le rôle de chaque signataire dans la gestion des sites.

### **Contextes stationnels étudiés**

Les sites doivent être installés dans des contextes stationnels dans lesquels des progrès sont attendus dans les méthodes de préparation du site pour pouvoir (1) améliorer le taux de réussite global de la plantation, (2) améliorer la vitesse de croissance initiale des plants, ou (3) réduire les coûts d'installation de la plantation. Par ailleurs, les contextes stationnels choisis doivent représenter des surfaces importantes à une échelle nationale ou régionale.

Les difficultés d'installation prises en compte sont celles liées aux caractéristiques du sol (compaction, hydromorphie, sécheresse estivale) ou à la végétation spontanée (compétition pour les ressources, encombrement physique). Les autres difficultés, notamment celles liées aux herbivores, aux attaques phytosanitaires, au choix des essences ou à la qualité des plants, ne sont pas traitées dans ce projet même si elles peuvent être primordiales pour la réussite des plantations.

### **Outils testés**

Le projet est axé sur des outils robustes et polyvalents. Chaque outil est mis en œuvre et évalué dans des conditions (station, état de la parcelle) auxquelles il est supposé être adapté. Certains outils nécessitent une préparation préalable de la parcelle (nettoyage, broyage, suppression de la végétation ou des souches...). De même certains outils peuvent être utilisés en combinaison. Aussi, il faut bien caractériser l'état initial de la parcelle (encombrement au sol, rémanents, état du sol...) et les travaux effectués avant la mise en œuvre de l'outil testé, afin de pouvoir évaluer l'outil dans un itinéraire complet.

En 2013, les outils retenus pour les chantiers sont :

- Gamme mini-pelle :
  - Le sous-soleur multifonction®, pour un travail en potet ou en linéaire, utilisé en technique « 3B » sur sols hydromorphes ou « à plat » sur sols secs.
  - Le Scarificateur Réversible® avec rasettes de prédécoupage.
  - Le Razherb®, utilisé dans les parcelles avec un tapis dense de graminées. L'outil est souvent utilisé en combinaison avec un outil de travail du sol (Scarificateur Réversible®, sous-soleur multifonction®, culti3B®, dent de sous-solage)
- Le culti3B® monté derrière tracteur forestier, à utiliser plutôt sur sols hydromorphes, après le passage d'un broyeur ou du Razherb.
- La charrue bidisque motorisée®, à utiliser sur sol sablo-limoneux sec ou sur sol argileux ressuyé. L'évacuation ou le broyage des gros rémanents et un « rangement de branches simplifié » avec un râteau andaineur sont nécessaires.
- La charrue à soc, à utiliser sur sols sableux ou légers. L'évacuation des gros rémanents et un « rangement de branches simplifié » sont nécessaires.
- Les fraises, à utiliser seulement sur sols sableux, sur molinie et éventuellement sur fougère, aucun nettoyage n'est requis. Cependant, il faut une fraise large d'au moins 50 cm.

Cette liste est amenée à évoluer si de nouveaux outils sont identifiés et paraissent pertinents.

Les méthodes comportant l'utilisation d'herbicides ne seront pas testées en raison du manque de visibilité sur le maintien de ces méthodes à moyen terme.

Tous les plants sont installés manuellement. Il n'est pas envisagé de tester la plantation à la planteuse, non adaptée dans les sols autres que sableux.

### ***Essences plantées***

L'essence, choisie par le propriétaire, n'est pas déterminante dans le choix des sites sélectionnés. Néanmoins, on cherche à privilégier les essences les plus couramment utilisées en plantation (chênes, pins, douglas, épicéa). La même essence est plantée dans toutes les modalités d'un dispositif.

### ***Contrôle de l'abrutissement par les herbivores***

Le projet n'a pas les moyens de financer des surcoûts liés à des éventuelles protections contre le gibier. Des protections seront installées si elles sont prévues dans le cadre de la gestion courante des parcelles. Dans les autres cas, seule l'installation de petits enclos en supplément pourra être envisagée sous réserve des financements qui pourront être mobilisés.

### ***Durée du suivi***

Le suivi est prévu sur une durée d'environ 10 ans, qui correspond à la durée nécessaire à l'acquisition de la plantation. Après cette date, la plantation est considérée comme sortie de l'influence prépondérante de la compétition par la végétation.

Durant cette période, toutes les opérations réalisées dans la plantation (notamment les dégagements) sont notées. Les interventions à réaliser sont déterminées au fur et à mesure du développement de la plantation, pour chaque modalité mise en place, de façon à assurer la survie et la bonne croissance des plants.

### ***Analyse des données***

Les sites se différencient par de nombreux facteurs (conditions stationnelles, essence plantée, outils mis en œuvre, année de plantation...). Une analyse incorporant tous ces facteurs est impossible, étant donné le nombre forcément limité de sites installés. L'analyse des données se basera donc sur des comparaisons de l'installation des plants entre les modalités d'un même site. Cette contrainte impose d'avoir un minimum de 3 modalités comparées par site et d'inclure une modalité témoin dans chaque site. Dans un deuxième temps, on pourra comparer les conclusions issues des différents sites et chercher à les lier aux caractéristiques des sites.

## **Plans expérimentaux et mesures réalisées**

### ***Plans expérimentaux***

#### ***Dimension et forme des parcelles unitaires***

Il est nécessaire de tester au moins trois outils (ou combinaisons d'outils) par site. Chaque outil est mis en œuvre sur une placette unitaire. L'évaluation des outils comporte une estimation de leur productivité horaire réalisée à l'aide d'un suivi chronométrique. Pour être réalisé, ce suivi nécessite une placette unitaire d'une surface minimale de 1 ha.

Dans chaque dispositif, des modalités de référence sont installées : un témoin sans intervention, obligatoire dans tous les sites et, de façon optionnelle pour certains sites, des modalités utilisant des outils bien connus qui n'ont pas besoin d'être évalués. Ces modalités peuvent être mises en œuvre sur des surfaces plus petites (de l'ordre de 0,25 ha) car aucun suivi chronométrique n'y sera effectué.

La forme de la placette unitaire doit être adaptée à l'outil testé, notamment dans le cas des outils tractés, qui nécessitent une distance de mise en route en début et d'arrêt en fin de ligne

(tournière et attaque/relevage de l'outil). Pour ces outils, une longueur minimale de 150 m doit être respectée. En revanche, pour les outils montés sur mini-pelle, il y a peu de contraintes sur la forme des parcelles unitaires.

Par ailleurs, pour la plupart des outils, le sens de travail doit respecter les éventuelles contraintes du site, notamment la pente et la direction de l'écoulement de l'eau.

### **Nombre de parcelles unitaires et caractéristiques du site**

Les sites ne comportent pas de répétition, chaque modalité est installée sur une seule placette. Cela impose une forte homogénéité du site préalablement à l'installation des modalités : pente faible, végétation spontanée et sol homogène, pas de perturbations majeures du terrain (fossés, zones mouilleuses...).

Il peut être avantageux de répéter la modalité témoin sans intervention. C'est généralement une petite modalité et elle est donc moins robuste vis-à-vis des hétérogénéités potentielles du site. De plus, elle ne nécessite pas d'intervention et ne présente pas de contrainte particulière quant à la forme de la placette, elle est donc facile à installer.

La dimension minimale d'un site évaluant trois outils est donc de 4 ha.

### **Description globale du site**

Les informations générales sur le site doivent être récupérées et compilées : type de station, antécédents, localisation géographique, accès...

La parcelle doit être cartographiée (contour de la zone disponible et positionnement des éventuels obstacles (fossé, chemin...)).

Un plan de l'ensemble du site, comportant la disposition des parcelles unitaires et des lignes de plantation sera réalisé.

### **Caractérisation des parcelles**

Avant la mise en œuvre des outils et la réalisation d'éventuels travaux de nettoyage ou de broyage, une description pédologique et floristique, ainsi qu'un relevé des souches doit être effectués. Le nombre de points de description dépend de l'hétérogénéité apparente du site. Pour un site apparemment homogène, le nombre de points de sondage à prévoir est de 2 fois le nombre de futures parcelles unitaires. Si le site paraît plus hétérogène, le nombre de points doit être augmenté. Les points sont disposés de façon à couvrir l'ensemble de la zone d'installation des parcelles unitaires et leur répartition spatiale doit prendre en compte l'hétérogénéité apparente de la parcelle.

### **Description pédologique**

Une description pédologique est effectuée à l'aide d'un sondage à la tarière. Les carottes sont assemblées pour reconstituer le profil complet. Sont notés :

<b>Éléments grossiers</b>	Profondeur d'apparition des éléments grossiers, description (graviers, silex, etc.) et quantification : - 0 = absence - 1 = quelques cailloux, passage de tarière facile - 2 = des cailloux mais ne gênant pas le passage de la tarière - 3 = cailloux nombreux et/ou passage de la tarière difficile - 4 = très nombreux cailloux et/ou passage impossible
<b>Niveau blocage tarière</b>	Profondeur du blocage tarière (pas de blocage = N) et raison du blocage (charge en cailloux, compacité, etc.)
<b>Enrichissement en argile</b>	Profondeur d'apparition de l'enrichissement en argile (pas d'enrichissement = N)
<b>Traces hydromorphie</b>	Profondeur d'apparition de traces d'hydromorphie (pas d'hydromorphie = N)



<b>Calcaire</b>	Profondeur d'apparition du calcaire (pas de calcaire = N)
<b>Profondeur maximum</b>	Profondeur maximum atteinte et raison
<b>Niveau sondé</b>	Texture
<b>0.1</b>	Texture du niveau 0 - 10 cm
<b>1.2</b>	texture du niveau 10-20 cm
...	...

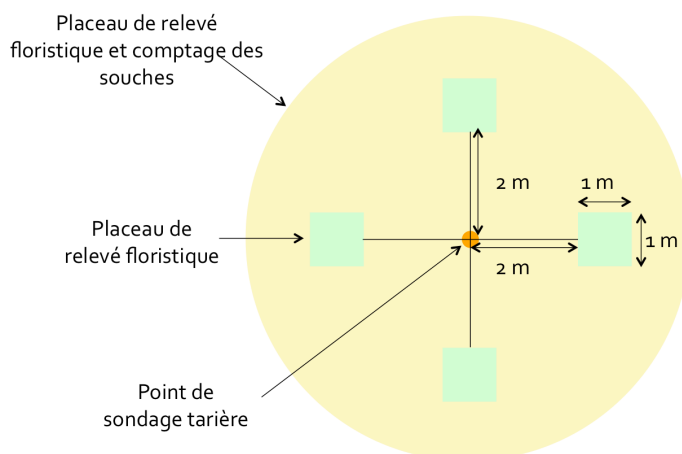
### **Description floristique**

Des relevés floristiques complets (incorporant les ligneux) sont effectués dans 4 placeaux de 1 m<sup>2</sup> situés à 2 m du point de sondage. Pour chaque espèce rencontrée, une notation de son recouvrement (en 1/10<sup>ème</sup>) est effectuée. On note "p" pour présence en cas de recouvrement inférieur à 1/10<sup>ème</sup>. En supplément, la hauteur maximum de l'espèce "contraignante" (fougère, calamagrosis, etc.) dominante sur le placeau est notée.

Par ailleurs, un relevé floristique complet est effectué sur un placeau circulaire de 200 m<sup>2</sup> (8 m de rayon) centré sur le point de sondage, dans lequel sont listées toutes les espèces présentes.

### **Comptage des souches et des obstacles pour le passage des engins**

Dans le même placeau circulaire de 200m<sup>2</sup>, un comptage des souches, des gros morceaux de bois (diamètre supérieur à 30 cm) et des troncs (longueur supérieure à 2 m) est effectué.



### **Délimitation et matérialisation des PU, piquetage des lignes de plantation**

Les parcelles unitaires pour chaque modalité sont délimitées sur le terrain et les lignes de plantation sont piquetées. On peut choisir un code couleur pour différencier les lignes travaillées avec chacun des outils.

### **Suivi chronométrique des machines**

Le protocole pour le suivi chronométrique a été établi à partir de protocoles initialement élaborés par le FCBA et adaptés par l'ONF. Les protocoles détaillés et les fiches de relevé sont disponibles auprès de ces deux organismes.

Lors de ses suivis, il est demandé à l'opérateur de la machine de travailler « comme en vrai », et de ne pas chercher à effectuer une performance particulière.

### **Suivi global**

Le suivi global est effectué dans toutes les modalités, y compris les modalités de référence (qui mettent en œuvre des outils déjà connus).

Une description du porte-outil est donnée :

- Type d'outil
- Marque et modèle
- Dimensions : longueur, largeur, hauteur, empattement, entre-axe, poids...
- Moteur : marque, puissance...
- Organes de roulement : motricité, pneumatiques, chenilles
- Transmissions : mécanique, hydraulique...
- Toute information pertinente

Une description de l'outil est donnée :

- Type d'outil
- Marque et modèle
- Dimensions : longueur, poids...
- Toute information pertinente (à adapter en fonction de l'outil)

Un carnet de bord décrivant le déroulement du chantier est rempli par le conducteur de la machine ou par un notateur à côté de la machine. Pour chaque opération (arrivée sur le chantier, déchargement et préparation des machines, phase de travail effectif, pauses, pannes, rangement, rechargement et départ du chantier...) sont notées l'heure de début et de fin (au quart d'heure près). La consommation en carburant, le kilométrage total, ainsi que la production (surface travaillée, nombre et longueur des lignes réalisées, nombre de potets réalisés) sont notés.

Pour finir, une notation qualitative des conditions météorologiques de la journée est effectuée.

### ***Suivi chronométrique fin***

Le suivi chronométrique fin est effectué uniquement sur les outils testés dans le cadre du projet. Il complète le suivi global.

Ce suivi s'effectue en deux temps :

- Reconnaissance des différentes phases de travail (par exemple pour un outil tracté : déplacement sur le chantier, manœuvre en bout de parcelle, travail du sol, évitement des obstacles, nettoyage de l'outil, maintenance/entretien, incident/panne). Les phases sont adaptées à l'outil décrit. Il est important d'utiliser les mêmes phases pour décrire un même outil sur différents chantiers.
- Suivi de l'outil. Sur une ou deux séquences de une à deux heures, un notateur suit la machine dans son travail. Il note l'enchaînement effectif des différentes phases et l'horaire de début de chaque phase. Ce suivi est réalisé au minimum une heure après le début du travail, une fois que le conducteur de la machine a pu se familiariser avec le site et qu'il travaille de façon régulière. La production (longueurs travaillées, ou nombre de potets réalisés) pendant cette phase de chronométrage est mesurée.

### ***Suivi chronométrique de la plantation***

La plantation est effectuée manuellement, au coup de pioche, dans toutes les modalités.

Un suivi chronométrique de la plantation est effectué pour toutes les modalités (y compris les modalités de référence). Ce suivi s'effectue à deux niveaux :

- Placette : Le temps mis globalement (sans différencier de phases de travail) par l'équipe de planteurs pour planter la parcelle, est noté. La production (nombre de plants installés, nombres de lignes plantées) est notée en fin de séquence.
- Lignes de plants : Les planteurs sont chronométrés individuellement sur une séquence d'une heure. Il est nécessaire d'avoir les mêmes planteurs chronométrés dans les différentes modalités. Le travail est divisé en phases : habillage des plants, déplacement jusqu'à la ligne, plantation. L'enchaînement et la durée des phases sont chronométrés. La production (nombre de plants installés) est notée en fin de séquence.

#### ***Suivi du développement des plants***

Après la plantation, une centaine de plants sont sélectionnés, en trois ou quatre grappes réparties dans la parcelle. Ces plants sont étiquetés individuellement, et des jalons permettent de repérer l'emplacement des grappes.

Après plantation, après une et deux années, puis tous les deux ou trois ans, un relevé des plants est effectué :

- état sanitaire : vif, dépérissant, mort, non retrouvé
- hauteur du bourgeon vivant le plus haut.

Trois à cinq ans après la plantation, l'arrachage de 10 plants dans chaque modalité pourra être réalisé, pour estimer le développement racinaire des plants dans chaque modalité.

#### ***Suivi de la dynamique de la végétation spontanée***

Huit à dix placeaux de 1m<sup>2</sup> sont installés dans chaque modalité. Ils sont positionnés entre deux plants et centré sur les lignes de plantation. Chaque placeau est matérialisé par des piquets en bois.

Après plantation, après une et deux années, puis tous les deux ou trois ans, un relevé floristique est effectué dans chaque placeau : liste des espèces présentes et abondance-dominance de chaque espèce.

#### ***Suivi des opérations d'entretien après plantation***

Après plantation, des opérations d'entretien (herbicide, dégagement manuel, girobroyage, rouleau landais...) sont réalisées. Ces interventions sont programmées indépendamment dans les différentes modalités, de façon à assurer un bon développement des plants dans chaque modalité.

Chaque intervention est notée : état des plants et de la parcelle (qui a conduit à la décision d'intervenir), caractéristiques détaillées de l'intervention réalisée (outil, opérateur, conditions de réalisation...), date, durée d'intervention, coût.

#### ***Mesures complémentaires envisagées***

Ce protocole présente les mesures nécessaires à l'installation et à un suivi minimal des dispositifs. La mesure d'autres paramètres peut être envisagée, notamment les paramètres qui permettent de bien caractériser les modifications induites par les outils testés et la réponse des plants à ces modifications :

- Description des caractéristiques physiques du sol : profils culturaux complets (mise en évidence de la zone travaillée, des horizons malaxés, de l'incorporation ou de l'exportation de matière organique...), profil de densité apparente, profil de résistance à la pénétration, écoulement de l'eau...
- Description du développement racinaire par les plants : dimensions des systèmes racinaires, déformations, prospection horizontale et verticale...

Ces descriptions peuvent être réalisées 3 à 5 ans après la plantation, de manière à caractériser les conditions initiales de croissance des plants. Elles peuvent être reconduites plus tard, pour évaluer l'effet à plus long terme (notamment sur la stabilité des arbres).

#### *Mise en commun des données*

Les dispositifs peuvent être analysés séparément. Néanmoins, une analyse commune des données doit être privilégiée, pour tirer partie de l'ensemble du réseau. Pour faciliter cette tâche, il est important que les expérimentations suivent des règles communes dans leurs protocoles, dans l'encodage des données récupérées et dans leur analyse. Des modèles de fichiers pour l'encodage des données sont disponibles.

Le partage des données est volontaire pour chaque responsable de site.

## **Annexe 2**

**Fiche outil mini-pelle**

**Annexe 2 : Fiche mini-pelle**



# La mini-pelle 2,5t à 6t

Au service de la forêt



## Pourquoi la mini-pelle en forêt ?

La mécanisation lourde provoque en forêt :

- ▶ Dégradation des sols : risques d'hydromorphie, d'anoxie, activité biologique réduite.
- ▶ Surencombrement des parcelles par les rémanents d'exploitation.
- ▶ Chantiers de grandes surfaces travaillés en plein : impact fort sur le milieu (paysage, zones d'abri, gainage ligneux).

**La mini-pelle** apporte des solutions de mécanisation légère qui impactent faiblement le milieu.

De nombreux outils s'adaptent sur mini-pelle pour des contextes d'utilisation variés : grappin forestier (RABAUD®), fendeuse (LASCO®), broyeurs (SEPPI M.®), gamme d'outils BECKER®, etc.

Cette fiche détaille particulièrement l'utilisation de la mini-pelle :

- pour préparer les sols à la création ou au renouvellement des forêts.
- pour gérer ou maîtriser la végétation concurrente au cours de la phase d'installation des peuplements forestiers.

### Caractéristiques techniques

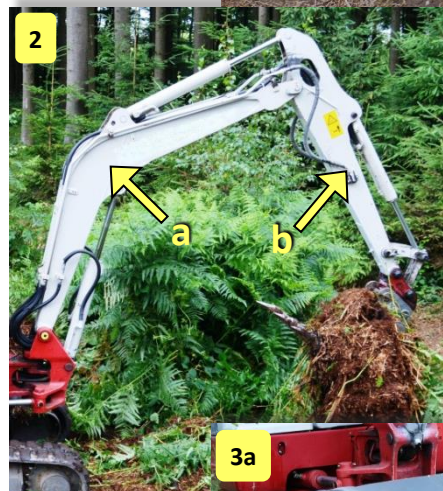
- Catégories : 2,5 à 6 tonnes (=Catégorie 1 du référentiel R372m ; CNAM)
- Largeur hors tout : 1,40 m à 2,10 m
- Consommation gasoil : 3 à 6 litres/heure

**Une mini-pelle de 2,8 tonnes est idéale pour l'utilisation des différents types d'outils présentés dans cette fiche.**

Son gabarit réduit offre une souplesse d'utilisation et une précision d'intervention en forêt.

Equipements indispensables pour le travail en forêt :

- 1** Chenilles caoutchouc : s'adaptent à la forme du terrain naturel et permettent une bonne adhérence de l'engin.
- 2** Flèche (a) + Balancier (b) : portée de travail : 4 à 7 m de part et d'autre de l'axe d'avancement de l'engin selon les modèles.
- 3** Protections sous châssis et tourelle des tuyauteries et flexibles + stabilisateurs : sabot de franchissement®(a) ou rouleau palpeur.



## Logistique et mise en œuvre du chantier

### Comment transporter la mini-pelle ?

- Poids total en charge de la remorque < 3,5t : remorque-plateau tractable par véhicule léger (fourgon, 4x4) avec permis B, BE
- Poids total en charge de la remorque > 3,5t : petit porte-engins tracté par camion avec permis C

### Mise en œuvre :

**Phase 1** Reconnaissance de la parcelle (contraintes, obstacles...).

**Phase 2** Piquetage de l'axe d'avancement de la mini-pelle en fonction du schéma de plantation ou des zones à régénérer naturellement.

**Phase 3** Réalisation du travail (potet, bande, placeau).

- Potets et placeaux : travail alterné ou discontinu.
  1. Contrôle des distances définies entre les zones travaillées.
  2. Comptage du nombre de potets/placeaux réalisés à l'aide d'un compteur manuel.
- Bandes : travail linéaire continu ou discontinu et de largeur définie.

**Phase 4** Contrôle et bilan du chantier.

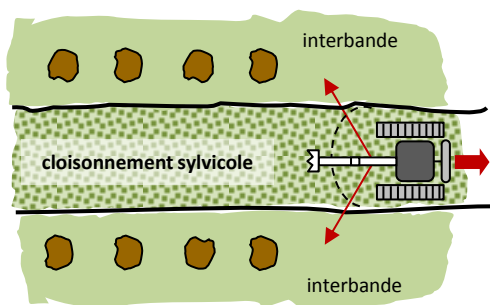
## Modes de travail

### Travail en potet Plantation

▪ Potets de 1m<sup>2</sup> à 3m<sup>2</sup> :

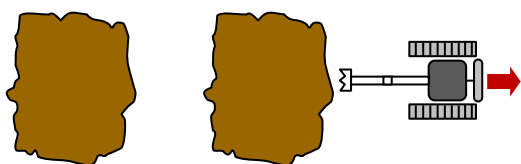


▪ Potets à partir de cloisonnements :

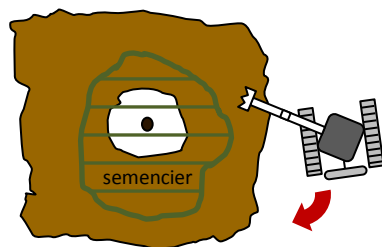


### Travail en placeau Plantation ou Régénération naturelle

▪ **Plantation** : Zone de 2x2m jusqu'à 10x10m



▪ **Régénération naturelle** : travail à l'aplomb des semenciers ou selon un maillage défini (dimensions variables) :

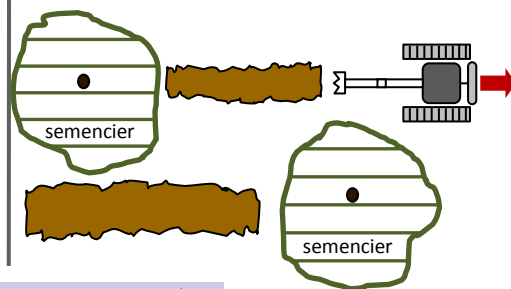


### Travail en bande Plantation ou Régénération naturelle

▪ **Plantation** : largeur de 1 à 2 m



▪ **Régénération naturelle** : largeur de 2 à 6 m, longueur variable :



Sur tous les dessins, le sens de progression de la mini pelle est indiqué par la flèche ➡



**Très grands placeaux de 10 x 10 m** : réservés aux cas particuliers suivants :

- contrôle de la fougère aigle très haute (verse latérale importante). On ne plante que la partie centrale (8x8m maximum).
- en zone hydromorphe, la partie centrale du placeau ou des bandes sont surélevées. Les plants sont installés sur ces zones « hors d'eau ».

**Enrichissement de régénération par plantation** : le gabarit réduit de la mini-pelle lui permet de circuler et de travailler à partir des cloisonnements. Elle réalise un potet ou un placeau de part et d'autre de l'axe d'avancement.

**Protection des plants contre le gibier** : le cloisonnement favorise le gainage herbacé et la circulation du gibier. La mini-pelle permet de réaliser des potets ou placeaux en conservant une barrière végétale (souille) de 1 m minimum en largeur et en hauteur entre la zone travaillée et le cloisonnement pour protéger les plants.

**⚠ En cas de pente forte (maxi 30° ou 58 %) : Sens du travail :**

- Potets/placeaux : axe d'avancement de la mini-pelle dans le sens de la plus grande pente et travail du sol perpendiculaire à la pente.
- Bande : en terrasse suivant les courbes de niveau.



# La mini-pelle 2,5t à 6t

## Gamme d'outils

Dans le contexte de préparation des sols et de gestion de la végétation concurrente en forêt, la gamme d'outils BECKER® s'adapte sur mini-pelle pour réaliser un travail du sol de surface ou en profondeur et/ou un désherbage mécanique, comme alternative aux herbicides :

### Sous-Soleur Multifonction®



Travail du sol jusqu'à 60 cm de profondeur

### Scarificateur Réversible®



Désherbage et travail du sol jusqu'à 60 cm de profondeur

### Pioche-Herse® (P-H)



Désherbage et travail du sol jusqu'à 30 cm de profondeur

### Razherb®



Désherbage

## Contextes d'utilisation

- ▶ **Période d'utilisation de l'engin** : pratiquement toute l'année (éviter les sols gorgés d'eau). Dans tous les cas la réalisation du chantier doit se faire sur un **sol ressuyé**.
- ▶ **Surface du chantier** : idéale pour tous chantiers d'une surface < 10 ha. L'utilisation de la mini-pelle peut s'envisager sur des chantiers de surface plus importante.
- ▶ **Topographie** : la mini-pelle peut intervenir en toute situation, de la plaine à la montagne, jusqu'à 30° de pente (58 %).
- ▶ **Obstacles** : la mini-pelle peut se déplacer et travailler en présence d'obstacles : selon le besoin, elle évite ou déblaie les rémanents d'exploitation, souches, pierres, etc.
- ▶ **Accès** : un simple réseau de pistes forestières permet l'accès du véhicule tractant la mini-pelle au plus près du chantier.

## Impact environnemental

### Contrainte sur le sol

Le poids d'un engin et sa surface de contact avec le sol sont les deux facteurs qui agissent sur l'intensité du tassement. Plus un engin est lourd, plus les contraintes appliquées au sol sont grandes.

Une mini-pelle exerce, en statique, une contrainte sur le sol particulièrement faible compte tenu :

- De son poids réduit
- De ses chenilles permettant d'augmenter la surface de contact avec le sol donc de mieux répartir la contrainte.

### Respect du milieu

La mini-pelle permet de réaliser un travail localisé (potets, placeaux, bandes) qui minimise les effets négatifs de la mécanisation. Entre les zones de travail, on préserve les refuges faunistiques, le gainage ligneux, la biodiversité, etc.



Poids : 10 000 kg  
Surface au sol : 7000 cm<sup>2</sup>

Pression statique au sol :  
**1,4 kg/cm<sup>2</sup>**



Poids : 2 800 kg  
Surface au sol : 2645 cm<sup>2</sup>

Pression statique au sol :  
**1,06 kg/cm<sup>2</sup>**



Poids : 2 800 kg  
Surface au sol : 9650 cm<sup>2</sup>

Pression statique au sol :  
**0,29 kg/cm<sup>2</sup>**

## A retenir

### AVANTAGES

- Chenilles caoutchouc :
  - s'adaptent bien à la forme du terrain, ce qui favorise l'adhérence.
  - faible pression transmise au sol.
- Gabarit compact permettant de pénétrer et de travailler sur tous types de parcelles forestières.
- Pas de contrainte de dimension de chantier.
- Particulièrement bien adaptée au travail localisé.
- Modes de travail variés (potets, bandes, placeaux).
- Possibilité de conserver l'ambiance forestière comme protection naturelle contre le gibier.
- Possible combinaison de différents outils sur la mini-pelle sur un même chantier selon les situations.

### LIMITES & CONTRAINTES

- Coût journalier élevé pour un travail en linéaire.
- Adapter la catégorie de la mini-pelle (puissance et longueur du bras) suivant les contraintes rencontrées : pente, sol très compact, fort encombrement du chantier, etc.
- La qualité du travail réalisée dépend de la formation initiale de l'opérateur :
  - maîtrise de l'engin
  - bonnes connaissances du milieu forestier et de sylviculture.

**Prix de la location d'une mini-pelle (sans chauffeur) :** De 250 € à 500 € HT/jour selon la catégorie (tarifs 2014).

**Conduire une mini-pelle :** (Source : Recommandation R372m de la CNAM)

- Salarié : un CACES (Certificat d'Aptitude à la Conduite En Sécurité) de catégorie 1 ou un diplôme, titre ou certificat faisant foi de l'aptitude professionnelle pour la conduite d'engins de chantier (CAP, CFP, etc.) délivré depuis moins de 5 ans.
- Particulier : pas d'obligation spécifique.  
Dans tous les cas, une formation à la conduite de l'engin et à l'utilisation technique des outils est fortement recommandée.

## Contacts utiles et renseignements

### ➔ Equipe Mission Gestion de la Végétation en Forêt (MGVF)

INRA Nancy-Lorraine, Lerfob UMR 1092, rue d'Amance - 54280 CHAMPENOUX - FRANCE

☎ 03.83.39.40.45 - [www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret](http://www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret) - ✉ [mgvf@nancy.inra.fr](mailto:mgvf@nancy.inra.fr)

### ➔ BECKER Claude - Technique et concept de matériels et outils ; Conseil & Vulgarisation

☎ 06.08.23.19.16 ou 03.83.64.11.04 - ✉ [beckerclaude2@wanadoo.fr](mailto:beckerclaude2@wanadoo.fr)

Fiche technique « La mini-pelle 2,5t à 6t » - Janvier 2014

Reproduction autorisée sous réserve de respect de l'intégrité du document.

Fiche téléchargeable sur le site : [www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret](http://www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret)

Crédit photos : ©INRA MGVF

4

**Rédaction :**  
F.DUEZ - L.WEHRLEN - C.COLLET

**Groupe de travail :**  
C.BECKER - E.ULRICH - C.RICHTER - G.GIBAUD - J.PIAT

**Financiers :**  
MAAF - France Bois Forêt - IDF/CNPF - RMT AFORCE - Région Alsace



**Annexe 3**

**Fiche outil Scarificateur réversible®**

**Annexe 3 : Fiche Scarificateur réversible®**



# Le SCARIFICATEUR RÉVERSIBLE®

Désherbage, travail du sol



## Réussir une régénération :

C'est garantir un espace autour du jeune arbre par :

- **la maîtrise de la concurrence** exercée par la végétation pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux.
- **un travail du sol** favorable à un bon développement racinaire.

## Le Scarificateur Réversible®

s'utilise en **préparation de régénération naturelle ou de plantation.**

Cet outil élimine la végétation par arrachage et réalise ensuite un travail du sol sur 40 cm de profondeur par griffage, ou sur 60 cm par bêchage.

Il est une nouvelle alternative à l'utilisation des herbicides en forêt.

### Caractéristiques techniques de l'outil

Le Scarificateur Réversible® est composé de différentes dents fixées en parallèle sur un support de 75 cm de large :

- 1** Trois dents principales d'une hauteur de 40 cm.
- 2** Deux dents secondaires d'une hauteur de 20 cm intercalées entre les dents principales.
- 3** Trois obus de sous solage de 60 cm de long, fixés en prolongement des dents principales, à profil pointu aux deux extrémités.

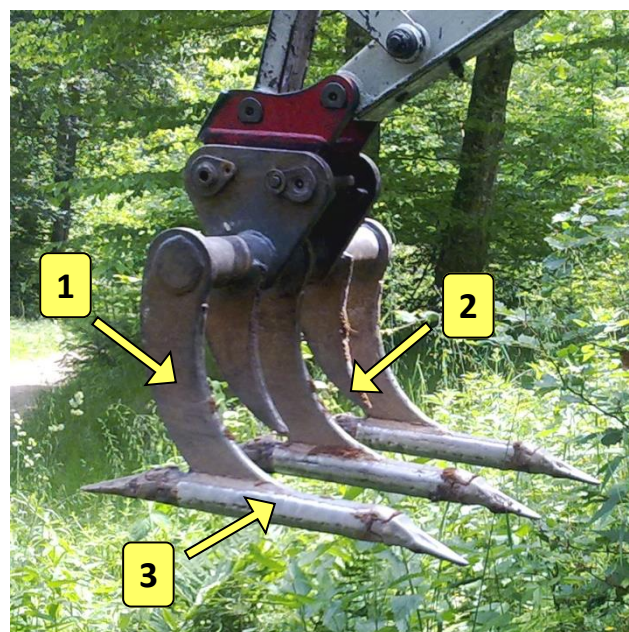
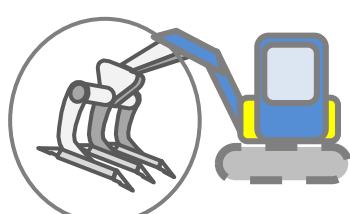
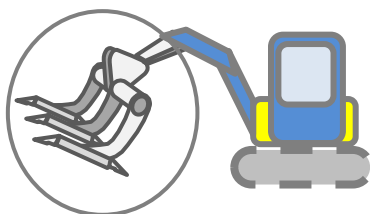
L'outil peut être monté sur le bras de la mini-pelle en position frontale ou en position rétro, en fonction de la technique d'intervention, du type de sol ou de la végétation à éliminer.

➤ Position rétro : travail du sol, arrachage de fougère aigle

➤ Position frontale : arrachage de végétation facile à extraire

Position frontale :

Position rétro :





# Le SCARIFICATEUR RÉVERSIBLE®

## Utilisation de l'outil

### Phases de travail

**Phase 1 DEBLAIEMENT** Dégagement de la surface à travailler par déblaiement latéral des obstacles gênants (rémnants, pierres, petites souches, racines).

**Phase 2 ARRACHAGE** Insertion de l'outil sous le tapis végétal qui est soulevé verticalement avec son système racinaire.

**Phase 3 SECOUAGE** Oscillations verticales du bras de la pelle pour limiter l'exportation du sol pris dans les racines.

**Phase 4 ANDAINAGE** Dépose latérale de la biomasse en petits andains parallèles à l'axe d'avancement. La masse végétale est retournée, racines en l'air.

**Phase 5a GRIFFAGE** Pénétration légèrement inclinée des obus dans le sol jusqu'à une profondeur de 40 cm.

ou, au choix

**Phase 5b BÉCHAGE** Pénétration verticale des obus dans le sol jusqu'à une profondeur de 60 cm. Ce décompactage est réalisé avec un faible bouleversement des horizons.

**Phase 6 EMIETTAGE** **Exclusivement pour les plantations** : les pointes d'obus affinent les grosses mottes par des mouvements circulaires à la surface du sol. Pas d'émiettage en préparation de régénération naturelle.

### Modes d'utilisation

#### Régénération naturelle

L'outil travaille à l'aplomb ou à proximité des semenciers :

#### Plantation

Le Scarificateur Réversible® est utilisable selon le schéma de plantation choisi :

#### Bande travaillée ou plateau



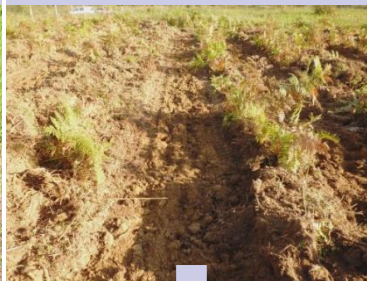
Dimensions variables

#### Potet individuel



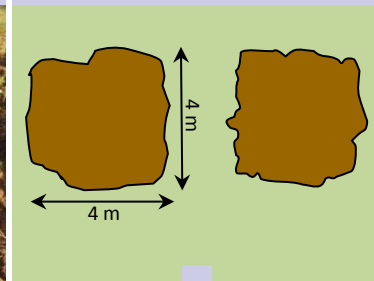
Potet de 1 m<sup>2</sup>

#### Bande travaillée

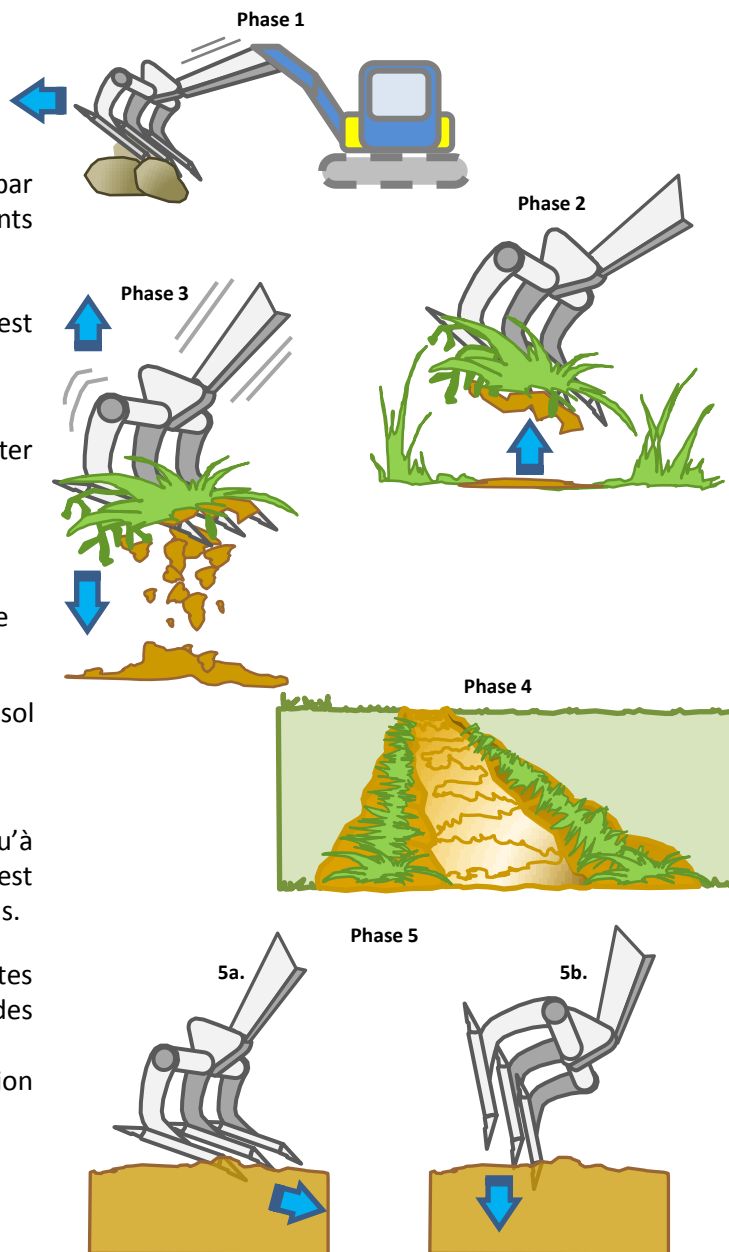


1 à 3 m de large

#### Plateau



Jusqu'à 10 m x 10m de surface



**⚠** Un travail sur une largeur insuffisante peut entrainer certains effets :

Ex : **Fougère aigle** : verse latérale à partir des inter bandes

Ex : **Graminées** : Réensemencement de la zone travaillée à partir des hampes florales situées dans les inter bandes ou recolonisation latérale au sol (Agrostide stolonifère)

Adapter la largeur de travail en fonction de l'espèce végétale, de sa hauteur et de sa densité.  
**Largeur = minimum 1 fois la hauteur de la végétation**



## Impact sur la végétation

### Durée d'efficacité du désherbage

Le Scarificateur Réversible® élimine immédiatement, par désherbage mécanique, la végétation concurrente (phase 2). La recolonisation par cette même végétation est fortement ralentie pendant au minimum 3 années. Cela s'explique par l'exportation latérale du stock de graines initialement présent dans la litière et des systèmes racinaires de la végétation concurrente (phase 4).

### Fougère aigle : Exemple d'une plantation concurrencée sur sol limono-sableux (Expérimentation ALTER\*) :

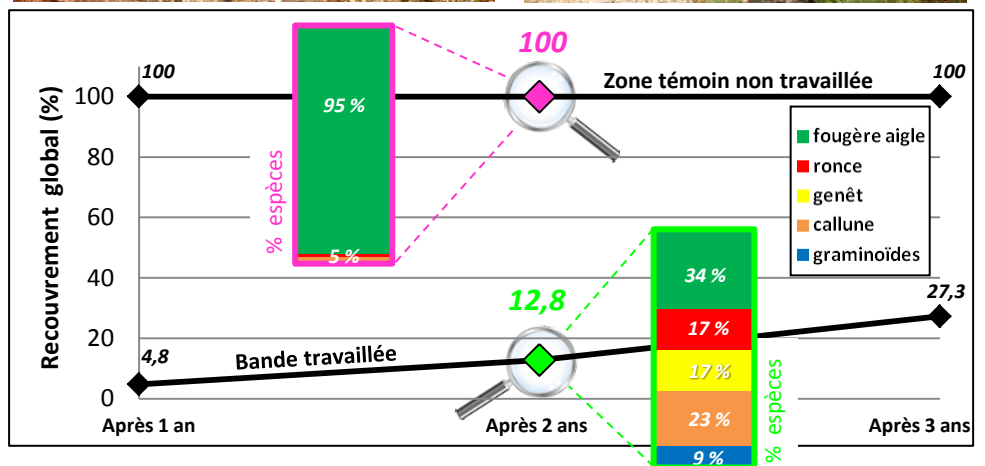
Après 2 ans : le recouvrement global de la végétation sur la zone travaillée est inférieur à 15% dont moins de 5% de fougère. Dans la zone témoin, non travaillée, le recouvrement reste proche de 100%.



### Substitution de flore

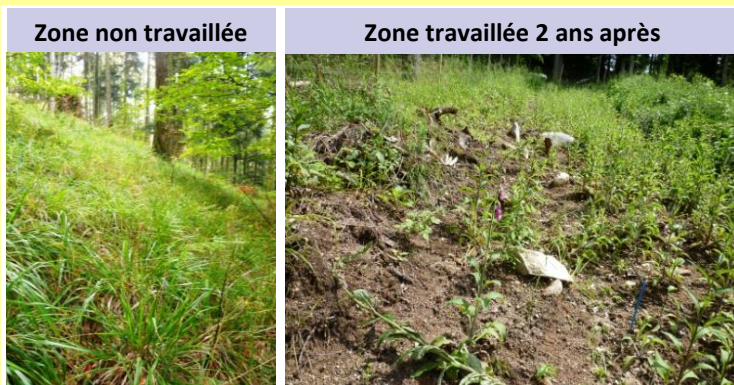
Tout travail du sol peut provoquer une substitution de flore: remplacement des espèces initialement présentes par d'autres espèces végétales.

Cette substitution peut être défavorable à la régénération (apparition de graminées) ou favorable dans le cas d'installation de dicotylédones souvent moins concurrentielles.



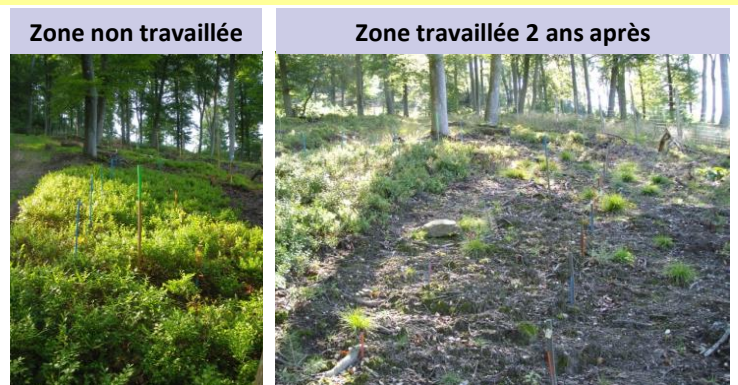
Deux ans après l'intervention, le Scarificateur Réversible® provoque une substitution généralement favorable. Dans le cas d'une station à fougère aigle dominante, la composition floristique de substitution est plus diversifiée et moins concurrente.

### Fétuque géante : Exemple de régénération naturelle difficile sur station acidophile de montagne (Résultats MGVF)



Deux saisons après l'intervention, le recouvrement global (substitution de flore) est inférieur à 50 % sous peuplement. La fétuque représente moins de 30% du recouvrement total.

### Myrtille : Exemple d'une régénération naturelle difficile sur station acidiphile de montagne (Résultats MGVF)



Deux saisons après l'intervention, le recouvrement global (substitution de flore) est inférieur à 20%. La myrtille ne représente que 5% du recouvrement total.

**⚠ La durée de l'efficacité du désherbage est fonction de la qualité du travail réalisé : il faut extraire le plus complètement possible la totalité de la biomasse aérienne et racinaire pour éviter une reprise de la végétation en place.**



## Impact sur le sol

Les horizons du sol sont fracturés et aérés par l'action de l'outil. Un léger creusement du sol en surface est créé (5 à 10cm), suite à l'arrachage du tapis herbacé.

Le bêchage en profondeur permet de développer rapidement les systèmes racinaires des semis ou des plants dès la 1ère année. En conséquence, la régénération résiste plus facilement aux sécheresses estivales.

Le travail de l'outil crée des **grosses mottes** en surface :

- **Régénération naturelle** : on les conserve sans les affiner, ce qui favorise la germination des graines entre les mottes.

- **Plantation** : on les conserve :

- en situation de pente, ce qui limite l'érosion du sol.
- s'il y a risque de battance sur sols sableux ou limoneux.

**Dans les autres cas, les mottes sont émiettées (Phase 6)**

Dans le cas des plantations, cette préparation de sol facilite la mise en place des plants :

- Le système racinaire est bien positionné dans un plan vertical (évite les déformations en crosse, en chignon ou en «L»). La qualité de la plantation est améliorée.

- Le travail du planteur est facilité. Il peut installer un plus grand nombre de plants dans la journée. La pénibilité du travail est réduite.

## Effets sur la régénération

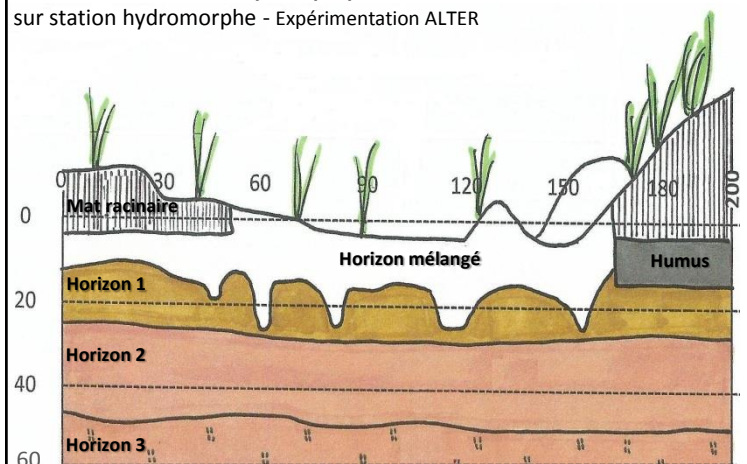
**Régénération naturelle réussie** après élimination de la myrtille ou de la fétuque géante (Expérimentations MGVF)

Deux ans après l'intervention du Scarificateur Réversible®, le nombre de semis est de 12 semis/m<sup>2</sup> contre 2 semis/m<sup>2</sup> dans les témoins non travaillés.

Semis naturels installés, 1 an après le travail du sol



Profil de sol 2 ans après préparation au Scarificateur Réversible® sur station hydromorphe - Expérimentation ALTER

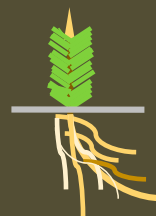


Source : Association pour la Relance Agronomique en Alsace (KOLLER Rémi)

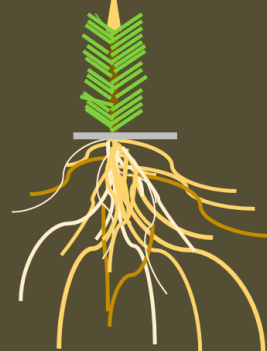
NB : Profil issu d'un travail du sol réalisé avec un prototype de l'outil à obus de sous solage plus courts, ce qui explique la profondeur de travail réduite à 25/30 cm.

Les techniques évoluent en permanence : en fonction des résultats, les outils et leur utilisation sont perfectionnés.

Système racinaire sans travail du sol



Système racinaire avec travail du sol



**Plantation réussie** de pins ou de chênes après élimination de la fougère aigle (Expérimentation ALTER)

Deux ans après la plantation : la croissance en hauteur est augmentée de + 11% (chênes) à + 24% (pins), par rapport aux plants témoin (plantation en fente, sans travail du sol).

La croissance en diamètre est augmentée de + 20% (chênes) à + 67% (pins).

La reprise est, en général, améliorée.

1 an après intervention



2 ans après intervention





## Contextes d'utilisation

	Type de végétation	Sol				Obstacles au travail de l'outil
		Texture dominante	Charge en éléments grossiers	Engorgement hivernal	Humidité lors de l'intervention	
<b>EFFICACE</b>	Fougère aigle Callune - Myrtille Genêt - Ajonc Ronce - Clématite Jeunes ligneux de francs pieds Graminées	Toutes textures sauf argile lourde très compacte	Faible à moyenne (<33%)	Pas d'hydromorphie ou hydromorphie de profondeur	Sol ressuyé ou partiellement ressuyé	Rémanents d'exploitation, pierres, souches < 30 cm de diamètre
<b>A PROSCRIRE</b>	Molinie <sup>1</sup> Calamagrostis Carex – Joncs	Argile lourde (taux argile > 45%) <sup>2</sup>	Elevée (>33%) à très forte <sup>3</sup>	Hydromorphie de surface <sup>4</sup>	Sol gorgé d'eau <sup>5</sup>	Gros blocs rocheux, forte densité de souches <sup>6</sup>



### Sol : Période d'intervention :

- Sur texture limoneuse, limono-argileuse, argileuse : de juillet à octobre sur sol ressuyé. Idéalement, la plantation se fera après les premiers gels hivernaux qui affineront la structure du sol par l'éclatement des mottes.
- Autres textures : intervention possible toute l'année (éviter les sols gorgés d'eau). Dans le cas d'une texture bien affinée, la plantation peut suivre immédiatement le travail du sol.



- 1 Molinie** : l'extraction de son système racinaire en zigzag engendre une exportation de sol plus importante. Le creusement du sol en surface est accentué ce qui crée des dépressions retenant l'eau en période hivernale.
- 2 Sur sols très compacts**, les blocs de terre se fixent sur les dents et sont évacués. Cela engendre une exportation de sol trop importante et perturbe sa structure initiale.
- 3 Les éléments grossiers en forte proportion et de taille importante** se coincent entre les dents, ce qui entraîne une exportation de sol plus importante et perturbe sa structure initiale.
- 4 Station avec hydromorphie hivernale de surface** : le creusement du sol créé par l'outil accentue l'impact de l'hydromorphie sur le plant (risque d'asphyxie par « effet de baignoire »).
- 5 Sol gorgé d'eau** : comme pour tous les outils de préparation du sol, le travail ne peut se réaliser sur sol engorgé.
- 6 Grosses souches** : l'outil n'est pas adapté pour un travail de dessouchage (résistance).

## Performances techniques et économiques

### Vitesse de travail

- **Potet** : 60 à 80 potets/heure (sur chantier peu encombré de rémanents)
- **Bande** : largeur 1,5 m : 90 à 110 mètres linéaires/heure  
largeur 2 m : 60 à 70 mètres linéaires/heure
- **Placeau** : 2m x 2m : 12 à 18 placeaux/heure  
6m x 6m : 7 à 10 placeaux/heure

NB : hors temps de déplacements et de préparation du chantier.

### Mise en œuvre

- **Avant la préparation du chantier** : **Broyage** de préparation inutile
- **Réalisation du travail** : Prix moyens HT prestataires en 2014. Ces tarifs sont variables selon le sol, la végétation, etc. :
  - Potet** : 0,80 € à 1,20 €/potet
  - Bande** : largeur 1,5 m : 1 à 1,10 €/mètre linéaire  
largeur 2 m : 1,10 à 1,25 €/mètre linéaire
  - Placeau** : 2m x 2m : 4,20 € à 6,50 €/placeau  
5m x 5m : 6,50 € à 10 €/placeau

### ➤ Plantation :

Ce type de préparation de sol permet d'augmenter le nombre de plants installés par planteur et par jour.

### ➤ Dégagements – Entretiens :

Le Scarificateur Réversible® permet de réduire fortement, voire de supprimer, les dégagements à effectuer jusqu'à l'acquisition de la plantation. Plantation sur station à fougère aigle abondante (Résultats ALTER) :

- Itinéraire sylvicole traditionnel : 1 à 2 dégagements annuels durant 3 à 5 ans (soit au total 3 à 10 dégagements)
- Itinéraire Scarificateur Réversible® : 0 à 1 dégagement, sur la totalité des 3 premières années et inutiles ensuite.

## A retenir

### AVANTAGES

- Technique alternative aux herbicides par désherbage mécanique.
- En présence de rémanents : outil bien adapté au déblaiement. Broyage inutile.
- Outil particulièrement adapté à l'arrachage des rhizomes de Fougère aigle.
- Décompactage du sol : jusqu'à une profondeur de 40 cm par griffage et 60 cm par bêchage. Cela facilite le développement des systèmes racinaires.
- Amélioration de la qualité de plantation (bonne mise en place des racines).
- Augmentation du taux de reprise et de la croissance des plants.
- Réduction ou suppression des dégagements.
- Régénération naturelle : lit de semence favorable à l'installation des graines.

### LIMITES & CONTRAINTES

- A proscrire sur stations à hydromorphie de surface en hiver, sauf en combinaison avec un outil réalisant la technique 3B.
- A proscrire sur sols très compacts.
- A proscrire sur sols à forte charge en éléments grossiers.
- Outil inadapté pour la molinie, les carex et joncs.
- Travail à réaliser sur sol ressuyé ou partiellement ressuyé.

## Contacts utiles et renseignements

### ► Equipe Mission Gestion de la Végétation en Forêt (MGVF)

INRA Nancy-Lorraine, Lefob UMR 1092, rue d'Amance - 54280 CHAMPENOUX - FRANCE

☎ 03.83.39.40.45 - [www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret](http://www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret) - ✉ [mgvf@nancy.inra.fr](mailto:mgvf@nancy.inra.fr)

### ► BECKER Claude - Technique et concept de matériels et outils ; Conseil & Vulgarisation

254, rue des Traits la Ville - 54200 TOUL - FRANCE

☎ 06.08.23.19.16 ou 03.83.64.11.04 - ✉ [beckerclaude2@wanadoo.fr](mailto:beckerclaude2@wanadoo.fr)

## Où trouver l'outil ?

► **GRENIER FRANCO** - RN7 Creux de la Thine - 26140 ANDANCETTE- FRANCE - ☎ 04.75.03.12.43 ✉ [francodg@orange.fr](mailto:francodg@orange.fr)

► **KIRPY** - Avenue de la gare - BP2 - 47390 LAYRAC- FRANCE - ☎ 05.53.87.00.02 ✉ [info@kirpy.com](mailto:info@kirpy.com)

Fiche technique « Scarificateur Réversible® » - Janvier 2014

Reproduction autorisée sous réserve de respect de l'intégrité du document.

Fiche téléchargeable sur le site : [www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret](http://www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret)

Crédits photos : ©INRA MGVF et ©ONF – Dessins : F.BONNE (INRA)

6

**Rédaction :**  
F.DUEZ - L. WEHRLÉN - C.COLLET

**Groupe de travail :**  
C.BECKER - E.ULRICH - C.RICHTER - G.GIBAUD - J.PIAT

**Financiers :**  
MAAF - France Bois Forêt - IDF/CNPF - RMT AFORCE - Région Alsace



## Annexe 4

Fiche outil Sous-soleur multifonction®

Annexe 4 : Fiche Sous-soleur multifonction®



Le **SOUS-SOLEUR MULTIFONCTION**®

Travail du sol

**Réussir une régénération :**

C'est garantir un espace autour du jeune arbre par :

- **la maîtrise de la concurrence** exercée par la végétation pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux.
- **un travail du sol** favorable à un bon développement racinaire.

Le **Sous-Soleur Multifonction**®

s'utilise **principalement en préparation de plantation**, et occasionnellement en régénération naturelle.

La fonction principale de cet outil est la **décompactation du sol jusqu'à une profondeur de 60 cm**.

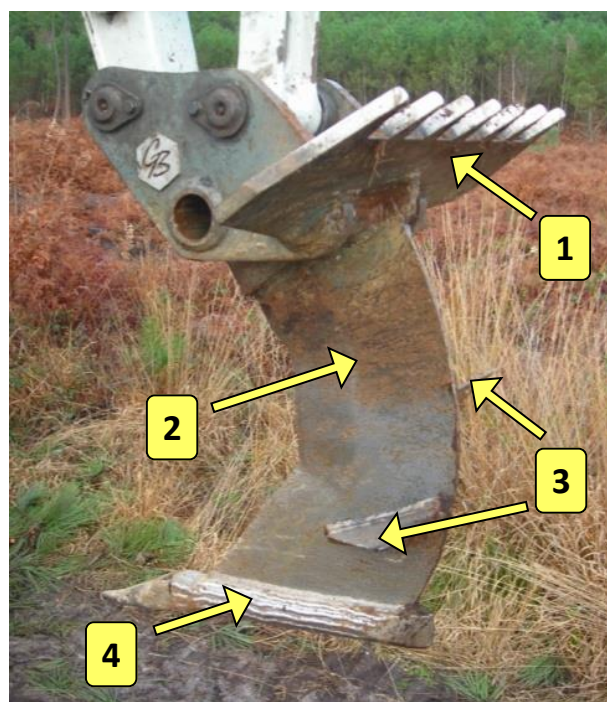
En préalable à ce travail, il élimine la majorité des espèces végétales ou des obstacles. Cet outil permet de réaliser la technique 3B.

**Caractéristiques techniques de l'outil**

Le Sous-Soleur Multifonction® est composé de 4 éléments :

- 1** Peigne désherbeur large de 60 cm.
- 2** Corps vertical haut de 60 cm et biseauté à l'avant.
- 3** Deux ailettes triangulaires biseautées, situées de part et d'autre du corps vertical, à hauteurs différentes.
- 4** Obus central de sous solage, fixé sur la base du corps vertical et pointu à son extrémité.

Cet outil peut être considéré comme une pioche géante. C'est la différence avec un sous-soleur classique, utilisé en traction linéaire et constante.

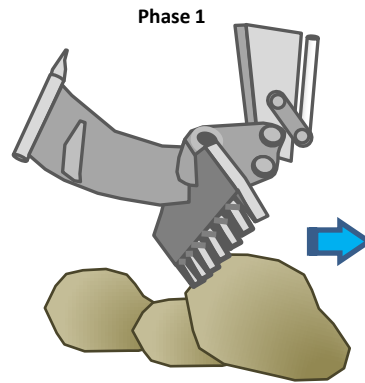


## Utilisation de l'outil

### Phases de travail

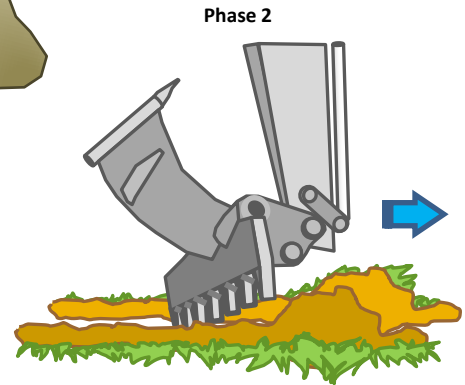
#### Phase 1 DEBLAIEMENT

Les obstacles (rémanents, pierres, souches, racines) sont déblayés latéralement.



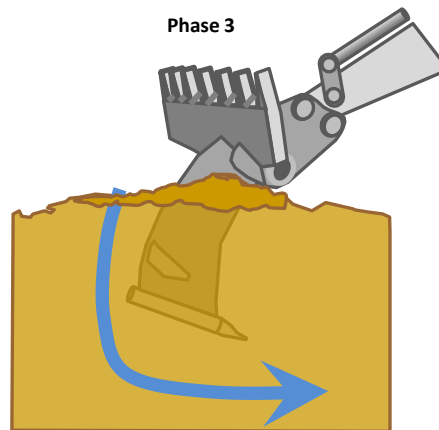
#### Phase 2 RACLAGE

En aucun cas, la biomasse présente sur la zone de travail ne doit être incorporée dans le sol. Le peigne désherbeur racle, sur 2 à 3 cm de profondeur, le tapis herbacé et la litière, qui sont repoussés vers les bords de la zone de travail.



#### Phase 3 PIOCHAGE

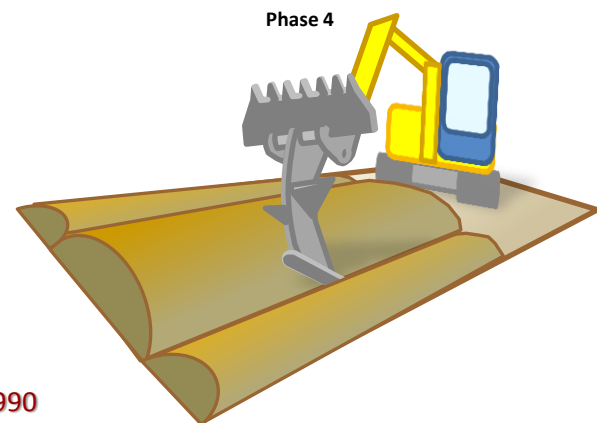
La dent plonge dans le sol jusqu'à 60 cm de profondeur. Le piochage est réalisé sur l'axe d'avancement en trois passes: une au centre, une à droite et une à gauche, sans remonter les horizons profonds à la surface.



et, en option,

#### Phase 4 3B

**Uniquement pour la réalisation de la technique 3B (Billon Bombé Becker) :** Réalisation de 2 autres passes latérales en biais (1 à droite, 1 à gauche), qui ramènent le sol au centre de l'axe d'avancement pour créer une butte surélevée de 20 à 30 cm par rapport au niveau naturel. Cela crée un sillon de 20 cm de profondeur de part et d'autre de la zone travaillée.



**Ne pas confondre la technique 3B avec le billonnage des années 1970/1990**

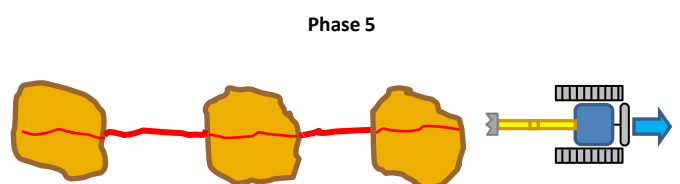
(synonymes : labour en ados ou en planches) réalisé à la charrue à disques qui effectuait

un labour dressé. Le plancher, ou la semelle de labour, sous la zone travaillée n'était pas fracturé. Il en résultait un développement horizontal des systèmes racinaires des plants mais sans développement de pivots. Ces peuplements étaient très instables et fragilisés face au vent.

et, en option,

#### Phase 5 DRAINAGE

**Sols hydromorphes :** pour faciliter le drainage, les potets sont reliés entre eux par un passage de l'obus de sous solage en profondeur, dans le sens de la pente, jusqu'aux fossés d'évacuation.





## Modes d'utilisation

L'outil peut s'utiliser soit :

- **Seul** : si la végétation peut être désherbée facilement avec le peigne (Phase 2)
- **Combiné avec d'autres outils** : si la végétation est plus difficile à éliminer (Molinie, Fougère aigle, Ronce...) : passage préalable du Scarificateur Réversible® ou du Razherb® pour éliminer le tapis végétal avant la décompaction du sol.

## Régénération naturelle

L'outil travaille à l'aplomb ou à proximité des semenciers sur sols superficiels ou compactés en profondeur :



Dimensions variables

## Plantation

Distance entre plants sur la ligne > 2.50 m → Potet individuel  
Distance entre plants sur la ligne < 2.50 m → Bande travaillée

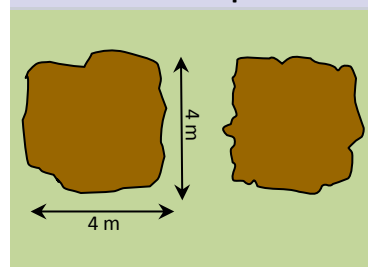
### Potet individuel à plat



### Bande travaillée à plat



### Placeau à plat

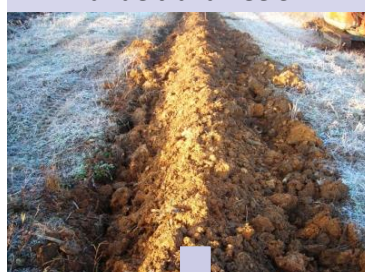


### Potet individuel 3B



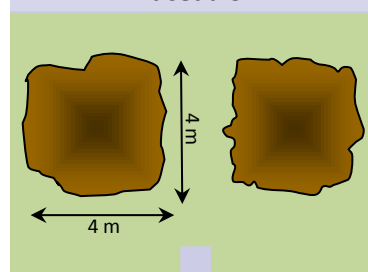
Potet de 1 m<sup>2</sup>

### Bande travaillée 3B



1 à 2 m de large

### Placeau 3B



Jusqu'à 10 m x 10m de surface

⚠ **Un travail sur une largeur insuffisante peut entraîner certains effets :**

Ex : **Fougère aigle** : verse latérale à partir des inter bandes

Ex : **Graminées** : Réensemencement de la zone travaillée à partir des hampes florales situées dans les inter bandes ou recolonisation latérale au sol (Agrostide stolonifère)

Adapter la largeur de travail en fonction de l'espèce végétale, de sa hauteur et de sa densité.  
**Largeur = minimum 1 fois la hauteur de la végétation**

## Impact sur la végétation

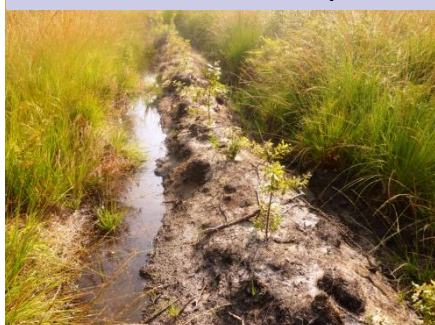
Le Sous-Soleur Multifonction® élimine immédiatement, par désherbage mécanique, la végétation concurrente. La recolonisation par cette même végétation est fortement ralentie les premières années, jusqu'à 2 ans, selon les cas. A noter que tout travail du sol peut provoquer une substitution de flore: remplacement des espèces initialement présentes par d'autres espèces végétales. Cette substitution peut être défavorable à la régénération (apparition de graminées) ou favorable dans le cas d'installation de dicotylédones souvent moins concurrentielles.

**Molinie** : Plantation concurrencée sur station hydromorphe - **Technique 3B précédée du Scarificateur Réversible®** (Expérimentation ALTER\*)

### Zone non travaillée



### Bande travaillée 2 ans après



Après 2 saisons de végétation, le plant installé sur le 3B est maintenu hors concurrence herbacée et hors asphyxie.

**Calamagrostis** : Préparation du sol avant plantation sur sol sablo-limoneux - **Technique à plat seule** (Expérimentation PILOTE\*\*)

### Zone non travaillée



### Bande travaillée



Le Calamagrostis est éliminé sur une bande de 1,50 m de large avant le travail de décompaction.



## Impact sur le sol

► **Technique à plat** : les horizons du sol sont fracturés et aérés par l'action de la dent et des ailettes. Cela permet au système racinaire des plants ou des semis, de se développer rapidement dès la 1<sup>ère</sup> année. En conséquence, la régénération résiste plus facilement aux sécheresses estivales.

► **Technique 3B** : Un billon surélevé de 20 à 30 cm par rapport au terrain naturel est formé au centre de la zone travaillée. Deux sillons latéraux (20 cm de profondeur) sont créés par l'exportation du sol sur la butte.

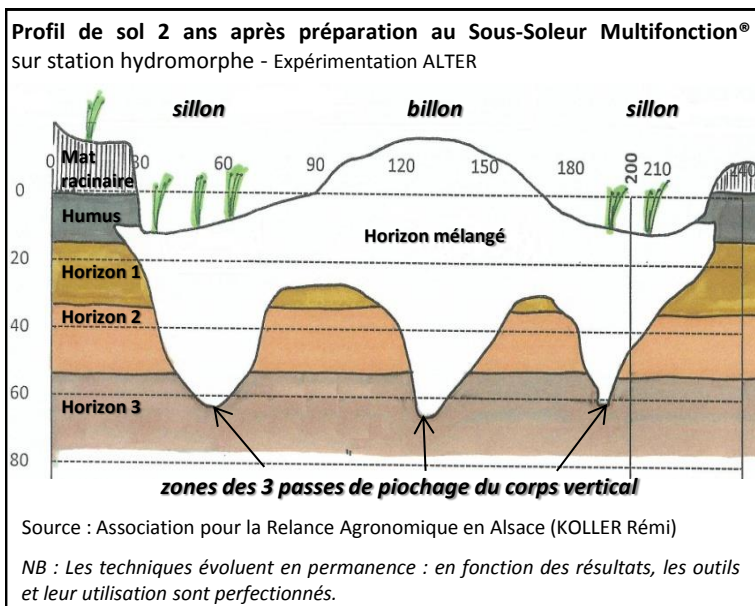
### Sur sols superficiels :

- augmente le volume de sol facilement prospectable par les racines.
- facilite la croissance des racines pivotantes pour une meilleure alimentation hydrique estivale de profondeur.
- sur sols à plaquettes calcaires, la structure pierreuse est redressée verticalement, ce qui facilite la pénétration racinaire et l'infiltration des eaux directement à la base des plants.

**Sur sols lourds et hydromorphes** : évite l'asphyxie des plants en période hivernale et facilite le drainage grâce aux sillons.



**3B et lutte contre l'érosion en situation de pente** : les potets ou les bandes travaillées, perpendiculaires à la pente, limitent l'érosion. L'eau de ruissellement se bloque dans les sillons en alimentant directement les plants.



**Plantation** : la préparation du sol au Sous-Soleur Multifonction® facilite la mise en place des plants sur l'axe de la zone travaillée :

- Le système racinaire est bien positionné dans un plan vertical (évite les déformations en crosse, en chignon ou en «L»). La qualité de la plantation est améliorée.
- Le travail du planteur est facilité. Il peut installer un plus grand nombre de plants dans la journée. La pénibilité du travail est réduite.

## Effets sur la régénération

**Plantation réussie** de pins ou de chênes après élimination de la fougère aigle : **Technique 3B précédée d'un passage au Scarificateur Réversible®** (Expérimentation ALTER)

Deux ans après la plantation : la croissance en hauteur est augmentée de + 23% pour les chênes et de + 26% pour les pins, par rapport aux plants témoin (plantation en fente, sans travail du sol).

La croissance en diamètre est augmentée de + 27% pour les chênes et de + 83% pour les pins.

La reprise est, en général, améliorée.





## Contextes d'utilisation

		Sol		Obstacles au travail de l'outil	
		Humidité lors de l'intervention	Engorgement hivernal		
			Technique à plat	Technique 3B	
EFFICACE		Sol ressuyé ou partiellement ressuyé	Pas d'hydromorphie	Hydromorphie de surface	Rémanents d'exploitation, pierres, roches, souches < 30 cm de diamètre
	A PROSCRIRE	Sol gorgé d'eau <sup>1</sup>	Hydromorphie de surface <sup>2</sup>	Pas d'hydromorphie <sup>3</sup>	Forte densité de souches > 30 cm de diamètre <sup>4</sup>



### Sol : Période d'intervention :

- Sur texture limoneuse, limono-argileuse, argileuse : de juillet à octobre sur sol ressuyé. Idéalement, la plantation se fera après les premiers gels hivernaux qui affineront la structure du sol par l'éclatement des mottes.
- Autres textures : intervention possible toute l'année (éviter les sols gorgés d'eau). Dans le cas d'une texture bien affinée, la plantation peut suivre immédiatement le travail du sol.



<sup>1</sup> **Sol gorgé d'eau** : comme pour tous les outils de préparation du sol, le travail ne peut se réaliser sur sol engorgé.

<sup>2</sup> **Station avec hydromorphie hivernale de surface** : la technique à plat peut accentuer les effets de l'hydromorphie sur les plants (risques d'asphyxie).

<sup>3</sup> **Pas d'hydromorphie** : technique moins justifiée sur sol sain mais possible.

<sup>4</sup> **Forte densité de souches** : l'outil est suffisamment résistant pour extraire les souches. Une trop forte densité de souches influe cependant négativement sur la vitesse de travail horaire (et donc le coût du travail).



**Technique 3B** : ameubli et aère fortement le sol dont la structure se tasse naturellement après 1 à 2 ans (selon les types de sols). Lors de la plantation, il faut enterrer le collet des plants de 1 à 2 cm pour éviter le déchaussement ultérieur.



**Technique 3B** : accroît la pénétration du gel dans le sol. Pour les plantations d'automne, le risque de gel racinaire des plants nouvellement installés est augmenté pour les espèces sensibles et sur certaines stations où le gel peut pénétrer facilement et profondément (texture sableuse). Dans ce cas il est préférable de planter en fin d'hiver, après les grands froids de février.

## Performances techniques et économiques

### Vitesse de travail

- **Potet** : 60 à 80 potets/heure (sur chantier peu encombré de rémanents)
- **Bande** : 80 à 110 mètres linéaires/heure
- **Placeau** : 2m x 2 m : 12 à 18 placeaux/heure  
6m x 6m : 7 à 10 placeaux/heure

NB : hors temps de déplacements et de préparation du chantier.

### Mise en œuvre

- **Avant la préparation du chantier** : **Broyage** de préparation inutile

- **Réalisation du travail** : Prix moyens HT prestataires, en 2014. Ces tarifs sont variables selon le sol, la végétation, etc. :

#### Préparation technique à plat :

**Potet** : 0,85 à 1,10 €/potet

**Bande** : 0,80 à 1,55 €/mètre linéaire

**Placeau** de 2m x 2m : 4,20 € à 6,50 €

5m x 5m : 6,50 € à 10 €

#### Préparation technique 3B :

**Potet** : 1,20 à 1,55 €/potet

**Bande** : 1,25 à 1,55 €/mètre linéaire

**Placeau** de 5m x 5m : 6,50 € à 10 €

- **Plantation** :

Ce type de préparation de sol permet d'augmenter le nombre de plants installés par planteur et par jour.

- **Dégagements - Entretiens** :

Le Sous-Soleur Multifonction® supprime les dégagements des 2 premières années après la plantation et permet de réduire, selon les cas, le nombre de dégagements ultérieurs (hors cas particulier de la fougère aigle).

## A retenir

### AVANTAGES

- Outil de restauration de sols déstructurés.
- Technique alternative aux herbicides par désherbage mécanique.
- Outil bien adapté sur sols superficiels ou à forte charge en éléments grossiers.
- En présence de rémanents : outil bien adapté au déblaiement. Broyage inutile.
- Décompactage du sol jusqu'à une profondeur de 60 cm facilitant l'installation des systèmes racinaires.
- Amélioration de la qualité et rapidité de mise en place des plants.
- Augmentation du taux de reprise et de la croissance des plants.
- Réduction du nombre de dégagements.
- Technique facilitant le drainage des eaux (3B).

### LIMITES & CONTRAINTES

- Travail à réaliser sur sol ressuyé ou partiellement ressuyé.
- Le Sous-Soleur Multifonction® n'est pas, en priorité, un outil de désherbage. En présence de certains végétaux (fougère aigle, molinie), il est nécessaire de le combiner avec d'autres outils adaptés (Scarificateur Réversible®, Razherb®).

## Contacts utiles et renseignements

### ➔ Equipe Mission Gestion de la Végétation en Forêt (MGVF)

INRA Nancy-Lorraine, Lerfob UMR 1092, rue d'Amance - 54280 CHAMPENOUX - FRANCE

☎ 03.83.39.40.45 - [www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret](http://www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret) - ✉ [mgvf@nancy.inra.fr](mailto:mgvf@nancy.inra.fr)

### ➔ BECKER Claude - Technique et concept de matériels et outils ; Conseil & Vulgarisation

254, rue des Traits la Ville - 54200 TOUL - FRANCE

☎ 06.08.23.19.16 ou 03.83.64.11.04 - ✉ [beckerclaud2@wanadoo.fr](mailto:beckerclaud2@wanadoo.fr)

## Où trouver l'outil ?

➔ **GRENIER FRANCO** - RN7 Creux de la Thine - 26140 ANDANCETTE- FRANCE - ☎ 04.75.03.12.43 ✉ [francodg@orange.fr](mailto:francodg@orange.fr)

➔ **KIRPY** - Avenue de la gare - BP2 - 47390 LAYRAC- FRANCE - ☎ 05.53.87.00.02 ✉ [info@kirpy.com](mailto:info@kirpy.com)

Fiche « Sous-Soleur Multifonction® » – Janvier 2014

Reproduction autorisée sous réserve de respect de l'intégrité du document.

Fiche téléchargeable sur le site : [www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret](http://www.nancy.inra.fr/mission-gestion-vegetation-foret)

Crédit photos : ©INRA MGVF et ©ONF – Dessins : F.BONNE (INRA)

6

**Rédaction :**  
F.DUEZ - L.WEHRLEN - C.COLLET

**Groupe de travail :**  
C.BECKER - E.ULRICH - C.RICHTER - G.GIBAUD - J.PIAT

**Financeurs :**  
MAAF - France Bois Forêt - IDF/CNPF - RMT AFORCE - Région Alsace

