

# LE PROFIL CULTURAL : UNE MÉTHODE D'OBSERVATION POUR ANALYSER LES IMPACTS DE LA PRÉPARATION MÉCANISÉE DU SITE SUR LA STRUCTURE DU SOL

**Florian Vast<sup>1</sup>, Catherine Collet<sup>1</sup>, Rémi Koller<sup>2</sup>,  
Noémie Pousse<sup>3</sup>, Claudine Richter<sup>4</sup>**

1 INRAE Centre Grand Est Nancy, UMR SILVA 1434, pôle RENFOR

2 Association pour la Relance Agronomique en Alsace – SCHILTIGHEIM.

3 ONF, pôle RDI d'Avignon

4 ONF, pôle RDI de Fontainebleau

Face à la problématique du renouvellement forestier en stations contraignantes, la R&D s'attache à concevoir, tester et évaluer des techniques appropriées de préparation mécanisée du sol avant plantation. L'évaluation s'appuie légitimement sur la survie et la croissance des plants. Mais pour interpréter les résultats, il faut aussi pouvoir caractériser et analyser les effets sur le sol et ses propriétés. C'est l'objet d'une méthode développée en agronomie et qu'on peut adapter au milieu forestier : le profil cultural. Voyons de quoi il s'agit.

La plantation est une méthode de renouvellement qui permet de répondre aux enjeux actuels et futurs de la gestion forestière, notamment l'adaptation aux changements climatiques, aux évolutions de la filière forêt-bois et aux attentes de la société. Elle est le plus souvent précédée d'une Préparation Mécanisée du Site (PMS) destinée à lever des contraintes qui peuvent freiner voire compromettre l'installation et le développement des plants, ou entraver les interventions sylvicoles : végétation excessivement concurrentielle, sol compact ou engorgé, éventuellement attaques d'insectes ou petits rongeurs (Löf 2000), rémanents d'exploitation gênant l'accès aux plants... Les méthodes de PMS sont souvent choisies pour remplir simultanément plusieurs objectifs. En France, le recours à la PMS avant plantation a augmenté, avec l'abandon progressif des herbicides en forêt. De nombreux outils sont actuellement disponibles pour les gestionnaires.

Les travaux d'évaluation des effets de la PMS avant plantation se sont beaucoup intéressés aux performances des plants mais les impacts de la PMS sur les propriétés du sol ont été peu documentés. Le sol a des fonctions fondamentales pour les jeunes arbres : support physique pour l'enracinement, réservoir d'eau et d'éléments nutritifs, habitat de micro et macro organismes dont l'action est primordiale pour le recyclage de la matière organique et la disponibilité des éléments minéraux. La PMS modifie de nombreuses caractéristiques du sol : densité apparente, teneur en eau et en nutriments, température, teneur en matière organique, stock de carbone (Roger-Estrade et al. 2014), le type et l'intensité des modifications induites variant fortement selon le type de sol et les outils utilisés (Prévost 1992, Löf et al. 2012). Mais curieusement, on ne sait pas grand-chose des impacts directs sur la structure du sol, alors que leur caractérisation paraît indispensable pour comprendre et analyser les effets de la PMS sur le sol et les conséquences pour les plants.

Pour caractériser et quantifier l'impact de la PMS sur la structure du sol, le pôle RENFOR\* et le département RDI de l'ONF, en partenariat avec l'ARAA\*, ont adapté au contexte de la plantation forestière une méthode développée en agronomie, qui se base sur l'analyse d'un "profil cultural". Le profil cultural est différent du profil pédologique : il se définit comme l'ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions (Henin et al. 1969). Selon Manichon et Gautronneau (1987), la méthode du profil cultural est à la fois un outil de recherche pour analyser une technique de PMS particulière ou comparer des itinéraires techniques, un outil d'expertise pour identifier d'éventuels accidents liés à la mise en œuvre d'une PMS, et un outil pédagogique pour visualiser les effets directs de la PMS.

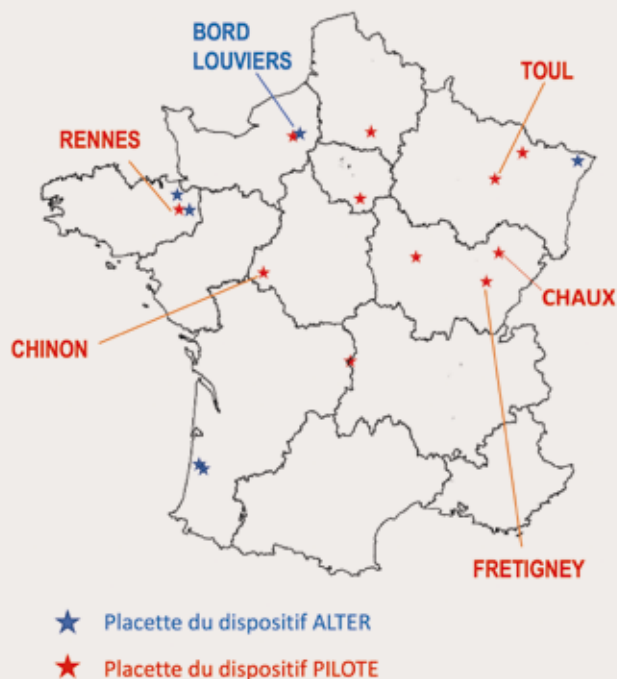
Cet article a pour objectif de présenter la méthode en expliquant son principe et sa mise en œuvre concrète en conditions forestières, et de commenter les premiers résultats d'analyses de profils réalisés, à titre exploratoire, sur une sélection de sites des réseaux expérimentaux ALTER et PILOTE (voir encadré 1). Ces deux réseaux testent des modes de PMS visant à réduire une forte compétition de la végétation vis-à-vis du plant, à décompacter le sol et, dans les contextes de fort engorgement, à former des billons pour mettre le plant hors d'eau.

## 1 - Les sites d'étude, dans les réseaux expérimentaux ALTER et PILOTE

Les sites sélectionnés pour cette étude (cf. carte et tableau) font partie des réseaux expérimentaux **ALTER** « **AL**ternative aux **HER**bicides en forêt » et **PILOTE**. Le premier a pour objectifs d'analyser la compétition entre la végétation et les jeunes plants, dans différents contextes régionaux où la végétation concurrente est composée de fougère aigle et/ou de molinie, et de quantifier l'effet des méthodes alternatives de PMS sur la survie et la croissance des plants.

Le réseau **PILOTE** a pour objectifs de délimiter le champ d'application des méthodes en termes de conditions stationnelles, d'intégrer ces méthodes à des itinéraires techniques de plantation, et d'estimer les effets sur les plants et les coûts de mise en œuvre de ces nouveaux itinéraires, dans différents contextes régionaux et stationnels.

Chaque réseau de chantiers de plantation se base sur un protocole d'étude commun.



	Toul	Chinon	Fretigney	Rennes	Bord Louviers	Chaux
Altitude	240m	118m	250m	75m	55m	250m
Pente	Max 10%	Nulle	Max 15%	Nulle	Nulle	Nulle
Température moyenne	10,4 °C	11,2 °C	11 °C	12,1 °C	11 °C	10,7°C
Précipitations	775 mm/an	716 mm/an	700 mm/an	836 mm/an	730 mm/an	1134 mm/an
Géologie	Alluvion récentes sur argiles et marnes	Eocène détritique continental	Limons des plateaux, argiles d'altération	Schiste briovérien	Alluvion anciennes de la seine	Limons sur cailloutis
Sol <small>(référentiel pédologique 2008 afes)</small>	Brunisol eutriqué à calcosol	Planosol Typique	Luvisol	Redoxisol	Podzsol ocrique	Redoxisol
Végétation concurrente	Graminées	Molinie Callune Fougère aigle	Ronces Graminées	Molinie	Fougère aigle	Molinie
Essence	Pin sylvestre	Pin Sylvestre	Douglas	Pin maritime	Chêne sessile Pin laricio de Corse	Chêne sessile Pin Sylvestre
Mois et Année de la PMS	Sept. 2017	Juil. à Sept. 2014	Oct. 2013	Sept. 2015	Oct. 2010	Oct. 2013
Année Profil	2018	2017	2014	2018	2015	2016

Plus d'informations sur : [www6.inrae.fr/renfor/Reseaux-d-experimentation](http://www6.inrae.fr/renfor/Reseaux-d-experimentation)

## La méthode du profil culturel : principe et mise en œuvre

La méthode du profil culturel est une méthode d'observation et de diagnostic conçue en sciences agronomiques (Manichon et Gautronneau, 1987). Elle vise à évaluer les effets engendrés par la PMS sur l'état structural du sol et à en déduire les impacts potentiels sur la distribution spatiale et le fonctionnement des systèmes racinaires des plants et, donc, sur leur croissance future. Elle se base sur l'observation directe du sol, selon un plan vertical (paroi d'une fosse pédologique). La structure du sol, résultant de la pédogénèse et de la PMS, est décrite et différents marqueurs de l'action de la PMS sont relevés.

**Un emplacement représentatif** de la zone à décrire est choisi dans la parcelle. Le plan du profil est positionné perpendiculairement au sens du travail de l'outil, et doit être assez grand pour permettre la description de toute la zone potentiellement impactée par la PMS (Fig. 1) : largeur au moins égale à la largeur de l'outil de PMS et du porte outil (tracteur ou pelle mécanique), profondeur au moins égale à la profondeur attendue du travail de l'outil. La fosse est généralement ouverte à l'aide d'une mini pelle. La face à décrire est rafraîchie à l'aide d'un couteau. On matérialise avec deux double-mètres un repère orthonormé permettant de relever les coordonnées des points d'observation (Fig. 2). Le centre du repère est positionné sur la ligne de plantation, au niveau estimé du sol avant perturbation. La description identifiera des zones de sol de structure homogène qu'on délimite à l'aide de repères visuels (tees de golf par exemple) implantés dans le profil.

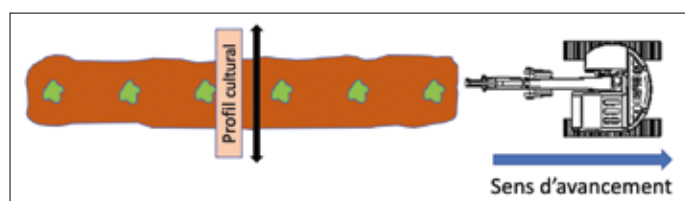


Figure 1. Emplacement et orientation du profil culturel.

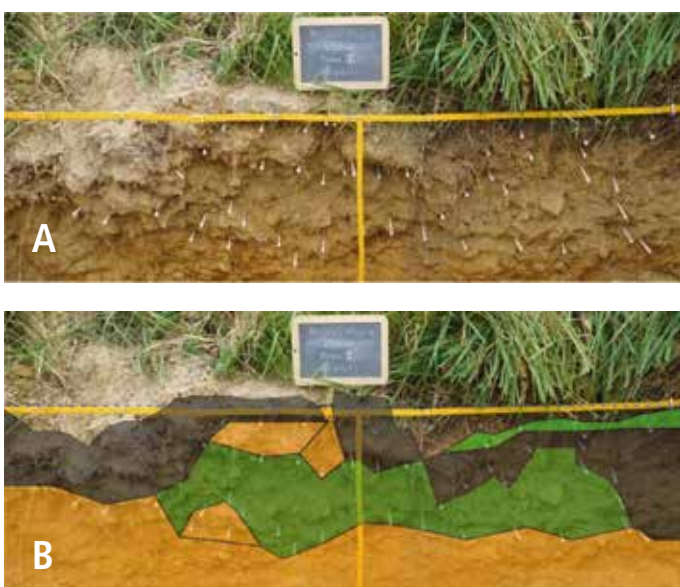


Figure 2. Profil culturel avec délimitation des zones de structure homogène : (A) sur le terrain avec des tees de golf et (B) sur image avec les polygones (Code couleur : voir figure 3).

## Description du profil

L'aspect du profil varie dans les deux dimensions, verticale et horizontale. La variabilité verticale résulte à la fois de l'évolution spontanée du sol et des actions culturales, alors que la variabilité horizontale résulte principalement des actions culturales. La description consiste d'abord à partitionner le profil en zones homogènes du point de vue des contraintes subies et de l'état qui en résulte. La partition verticale se base sur l'identification des différents horizons, d'origine anthropique ou pédologique. Latéralement, chaque horizon est partitionné après identification des zones de sol travaillé, des passages des roues des engins, et des zones indemnes de toute action anthropique.

Chaque zone est décrite selon les caractéristiques suivantes :

- l'état structural du sol (terre fine, mottes identifiables, zones tassées) ;
- la présence de vides éventuels (naturels ou créés par les outils) ;
- la localisation et l'état des matières organiques ;
- l'activité biologique (galeries de vers de terre, turricules...) ;
- l'hydromorphie ;
- les surfaces lissées par le passage des outils (principalement dans les argiles) ;
- la présence de racines et leur morphologie.

Les zones de sol homogènes ainsi identifiées sont cartographiées dans le repère.

## Focus sur l'état structural

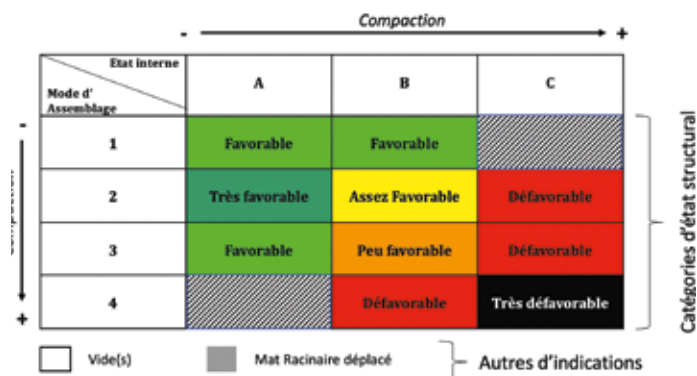
L'état structural du sol est estimé par l'observation des mottes, décrites selon deux critères : leur mode d'assemblage et leur état interne (Manichon et Gautronneau 1987).

L'assemblage des mottes est décrit à l'échelle de la zone de sol examinée. Il s'agit d'évaluer à la pointe du couteau leur existence et leur cohésion, selon une classification en quatre niveaux de compacité croissante :

- 1 Les mottes sont bien individualisées
- 2 Les mottes ne sont pas individualisées mais facilement discernables. Sous l'action de la pointe du couteau, des mottes de taille variable se détachent facilement de la face de description.
- 3 Les mottes ne sont pas individualisées et ne sont pas facilement discernables. Il faut exercer une pression du couteau plus forte pour les extraire du profil.
- 4 Les mottes ne sont pas discernables et la structure est continue et massive. La pointe de couteau ne s'enfonce pas ou quasiment pas. Il est très difficile d'extraire une motte de cette zone.

On estime ensuite l'état interne des mottes, en les fracturant manuellement pour en observer l'intérieur, selon trois classes :

- A Forte rugosité des faces de fragmentation, et agrégats discernables dans les mottes. La porosité est importante et témoigne d'une absence de tassement.
- B Aspect continu de la face de fragmentation avec des amorces de fissures. On note une faible porosité.
- C Aspect continu de la face de fragmentation, sans rugosité. La porosité est très faible. Cet état résulte très souvent d'un compactage d'origine anthropique.



**Figure 3.** Estimation de la qualité de l'état structural du sol vis-à-vis de l'enracinement des plantes à partir des notations d'état interne et d'assemblage des mottes

Les schémas des profils culturaux (figures 2, 4 à 7) utilisent le code couleur des différentes catégories d'état structural et autres indications présentés ici.

## Interprétation du profil

Pour chaque zone de sol, les notations d'assemblage et d'état interne des mottes sont agrégées en une appréciation unique de la qualité de la structure vis-à-vis de l'enracinement, selon six classes s'échelonnant de "très défavorable" à "très favorable" (Fig. 3).

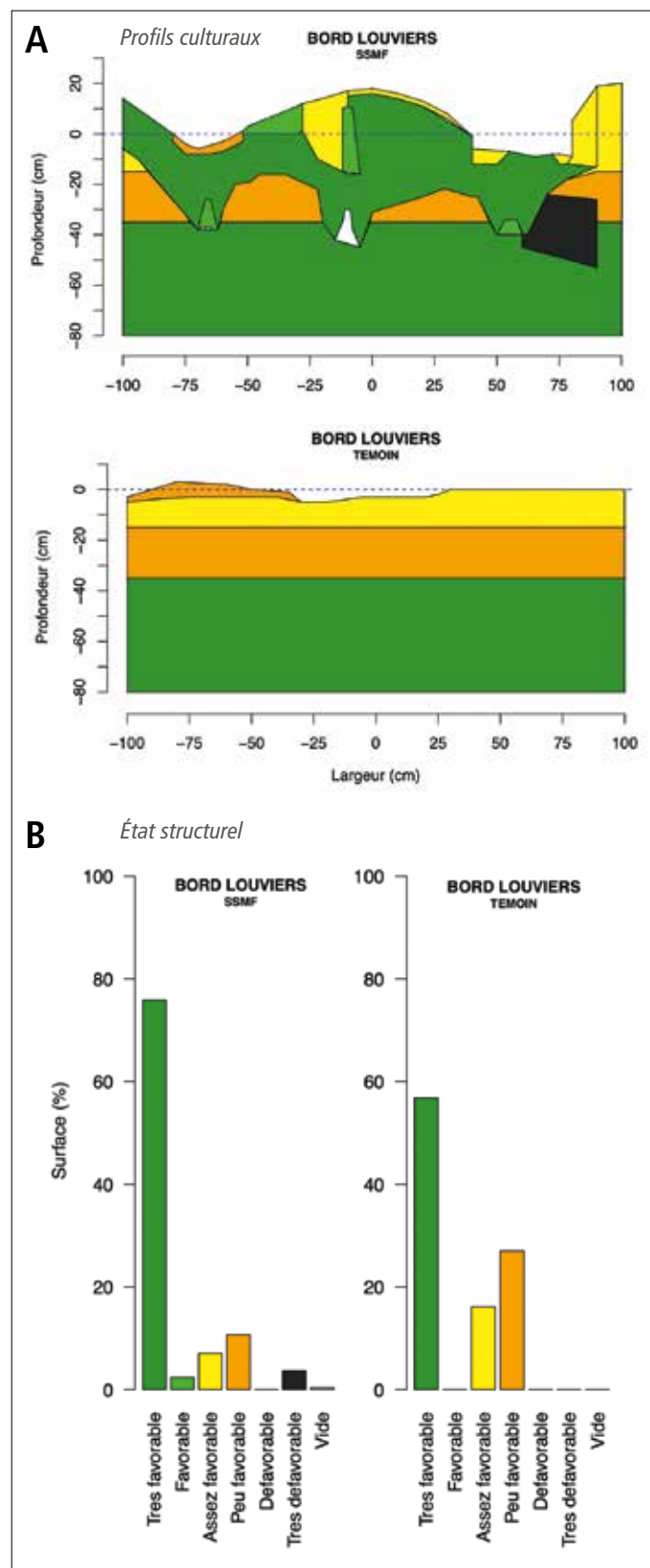
Le profil fait alors l'objet d'une représentation schématique standard utilisant un code couleur pour les différentes qualités de structure. Selon cette représentation, chaque zone de sol homogène forme un polygone dont on peut estimer les coordonnées ainsi que la surface. Cela permet d'extraire des variables quantitatives qui facilitent la comparaison des différents profils réalisés. Elle permet notamment de quantifier le volume de sol perturbé, le volume facilement prospectable pour les racines, et la profondeur réelle atteinte par l'outil.

Pour finir, on s'attache à l'interprétation du profil, pour analyser les impacts de la PMS et pour estimer les potentialités de la parcelle ainsi préparée, vis-à-vis du développement futur des plants. Cette interprétation n'est valable que pour les profils et pour le contexte local dans lequel la description est réalisée. La variabilité des résultats (liée aux conditions pédologiques, aux conditions climatiques lors de la réalisation de la PMS et à la dextérité de l'utilisateur de l'outil) ne permet pas de généraliser sans précautions les performances d'un outil observées dans une situation donnée.

## Exemples de profils culturaux

Les profils culturaux présentés sont un échantillon assez varié des 106 profils culturaux actuellement réalisés dans les réseaux PILOTE et ALTER. Parmi l'ensemble des outils de PMS testés dans les réseaux, nous nous sommes focalisés sur cinq outils (encadré 2).

La figure 4 montre les impacts du sous-soleur multifonction (SSMF), en comparaison d'une modalité témoin sans PMS, dans le dispositif de Bord Louviers. La parcelle est située dans un secteur sinistré par une tempête en 1989 où il y a eu une forte circulation d'engins. Dans le témoin, on observe un premier horizon « assez favorable » entre 0 et -15 cm, puis un horizon continu « peu favorable » à l'enracinement entre -15 cm et



**Figure 4.** Profils culturaux réalisés dans le site de Bord-Louviers dans une parcelle travaillée au sous-soleur multifonction (avec réalisation d'un billon) et dans la modalité témoin sans PMS.

(A) Représentation standard : la ligne pointillée bleue correspond au niveau moyen du sol avant PMS ; le code couleur est explicité figure 3. (B) Importance relative des niveaux d'état structural exprimée en pourcentage de la surface travaillée du profil.

## 2 - Outils de PMS évalués

Photo de l'outil	Descriptif de l'outil	Porte outil
	<p>La <b>BIDENT MAILLARD®</b> s'utilise la plupart du temps en préparation de plantation. Cet outil fracture et décompacte le sol jusqu'à 70-90 cm de profondeur, sur une largeur minimale de 1,5 m. Il permet également de déblayer le sol des obstacles et de la végétation concurrente.</p> <p>La Bident Maillard® est adaptable sur pelle mécanique (20-24 tonnes). Des trains de chaîne longs sont privilégiés afin de réduire le tassement du sol (portance de 310 à 350g/cm<sup>2</sup>). L'outil est composé de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• deux dents de sous-solage de 1 m de hauteur, biseautées à l'avant, espacées de 1 m et munies de trois paires d'ailettes de 18 cm de longueur ;</li> <li>• un peigne désherbeur de 1,80 m de largeur.</li> </ul>	
	<p>Le <b>SOUS SOLEUR MULTIFONCTION®</b> s'utilise principalement en préparation de plantation, et occasionnellement en régénération naturelle. Sa fonction principale est la décompaction du sol jusqu'à 60 cm de profondeur. Il élimine au préalable la majorité des espèces végétales ou des obstacles. Cet outil permet de réaliser la technique 3B.</p> <p>Le Sous-Soleur Multifonction® est composé de 4 éléments :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• peigne désherbeur large de 60 cm ;</li> <li>• corps vertical haut de 60 cm et biseauté à l'avant ;</li> <li>• deux ailettes triangulaires biseautées, de part et d'autre du corps vertical à hauteurs différentes ;</li> <li>• obus central de sous solage, fixé sur la base du corps vertical et pointu à son extrémité.</li> </ul> <p>Cet outil peut être considéré comme une pioche géante. C'est la différence avec un sous-soleur classique, utilisé en traction linéaire et constante.</p>	
	<p>Le <b>CULTI 3B®</b> s'utilise en préparation de plantation. Ses fonctions principales sont la décompaction et la fracturation des sols tassés jusqu'à 40-60 cm de profondeur, et la réalisation d'un billon.</p> <p>Le Culti 3B® est un outil tracté (tracteur de 6 à 9 tonnes, d'une puissance de 140 à 200 ch). Son poids : 2,2 tonnes. Ses dimensions : longueur = 3,50 m, largeur = 2,40 m. L'outil se fixe à l'arrière du tracteur sur le système 3 points, le mieux étant d'utiliser un 3 points hydraulique. Il se compose de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dent de sous-solage haute de 87 cm, rétractable. Deux ailettes triangulaires biseautées sont fixées de part et d'autre de la dent, à la même hauteur ;</li> <li>• cadre sur lequel sont fixés deux bras réglables qui permettent de travailler le sol sur 2 largeurs différentes. Les bras supportent les disques et leurs ressorts à lame ;</li> <li>• deux paires de disques (Ø 810 mm) à profil tranchant, indépendants et non motorisés, fixées sur les bras.</li> </ul>	
	<p>Le <b>RAZHERB®</b> s'utilise en préparation de plantation. Ses fonctions principales sont l'élimination, par raclage, du tapis herbacé de graminées (molinie), carex ou joncs, avant un travail de sol. Sur sol sableux : griffage du sol avec les dents du même outil, après le raclage.</p> <p>Le Razherb® se compose de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dents de griffage légèrement courbées de 30 cm à l'avant de l'outil ;</li> <li>• un godet sur lequel une lame a été ajoutée pour « trancher » la végétation ;</li> <li>• un « niveau » pour faciliter un travail horizontal ;</li> <li>• chaînes situées de part et d'autre du godet pour limiter le bourrage de la végétation.</li> </ul>	
	<p>Le <b>SCARIFICATEUR REVERSIBLE®</b> 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 30-40 cm de profondeur par griffage. Il se compose de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 dents principales d'une hauteur de 40 cm ;</li> <li>• 2 dents secondaires d'une hauteur de 20 cm intercalées entre les dents principales ;</li> <li>• 3 obus de sous solage de 60 cm de long, fixés en prolongement des dents principales, à profil pointu aux deux extrémités.</li> </ul>	

Plus d'informations sur : [www6.inrae.fr/renfor/Ressources/Fiches-techniques](http://www6.inrae.fr/renfor/Ressources/Fiches-techniques)

-35 cm et un troisième horizon « très favorable » à partir de -35 cm. Ce profil est certainement lié à une exploitation peu respectueuse des sols qui aurait engendré un tassement dans l'horizon intermédiaire « peu favorable ». Au-dessus, la végétation spontanée a pu amorcer un travail de restructuration naturelle par la mise en place de son système racinaire, ce qui pourrait expliquer un meilleur état structural. En-dessous, le sol ne semble pas avoir été perturbé.

Le profil cultural du SSMF montre un effet bénéfique de la PMS puisque les zones « assez favorable » et « peu favorable » du témoin ont quasiment disparu au profit d'une structure globalement « très favorable ». L'évaluation quantifiée (histogrammes) confirme qu'il y a davantage de zones de bonne qualité après passage du SSMF. La création du billon est très satisfaisante puisque le sommet du billon est à 20 cm au-dessus du niveau naturel du terrain. La profondeur maximale atteinte par l'outil est de 45 cm. Il faut noter une petite zone superficielle « peu favorable » correspondant certainement au passage des chenilles de la mini pelle. Quant au polygone noir « très défavorable », il vient probablement d'un effet ponctuel du tassement ancien.

La figure 5 montre les impacts du SSMF qui a été utilisé seul ou en combinaison avec le Razherb, sur différents sites caractérisés par un engorgement temporaire plus ou moins marqué.

Dans le profil réalisé à Chaux, où la molinie a été préalablement éliminée au Razherb, on observe une large zone défavorable au niveau du passage du SSMF alors que l'état structural du sol dans les zones hors de portée de l'outil est de meilleure qualité. La profondeur maximale atteinte par l'outil est limitée à 35 cm et le sommet du billon se trouve à 20 cm au-dessus du niveau naturel du sol. En fait, le travail de l'outil dans le fragipan (horizon limoneux naturellement compact) n'a fait que le malaxer comme de la pâte à modeler, ce qui a plutôt détérioré la situation.

À Frétigny, le SSMF a été utilisé seul pour réaliser un travail en potet. Le profil cultural a permis de mettre en évidence une augmentation de l'hydromorphie au niveau du passage de la dent de l'outil. Ce résultat est dû à la combinaison d'une micro topographie locale concave et d'un plancher argileux imperméable. Sous l'effet de la pente l'eau s'est accumulée dans la porosité créée par l'outil et la forte teneur en argile a retenu l'eau suffisamment pour créer un pseudogley préjudiciable à l'enracinement. Cette gleyification s'est faite rapidement, dans l'année qui a suivi la PMS. Dans les horizons de surface, on peut observer la présence de nombreux vides non favorables à l'enracinement : les mottes de terre présentent un bon état interne, mais une très mauvaise cohésion entre elles, le sol étant trop sec au moment de l'intervention, et le billon qui avait été créé n'est plus visible.

Le profil réalisé à Rennes montre aussi, mais dans une moindre mesure, la création d'une zone d'accumulation d'eau dans l'axe principal du passage de la dent du SSMF (zone orange) avec de fortes traces de réduction dans l'argile. On observe en outre la présence d'un horizon de surface défavorable. Il est difficile de déterminer sur la base de ce seul profil si cet horizon a été créé par l'outil ou bien s'il était préexistant à la PMS. Quoi qu'il en soit, la PMS, réalisée sous une météo particulièrement pluvieuse, n'a pas permis l'obtention d'un horizon favorable. La profondeur maximale atteinte par l'outil est de 48 cm et la hauteur du billon est limitée à 16 cm.

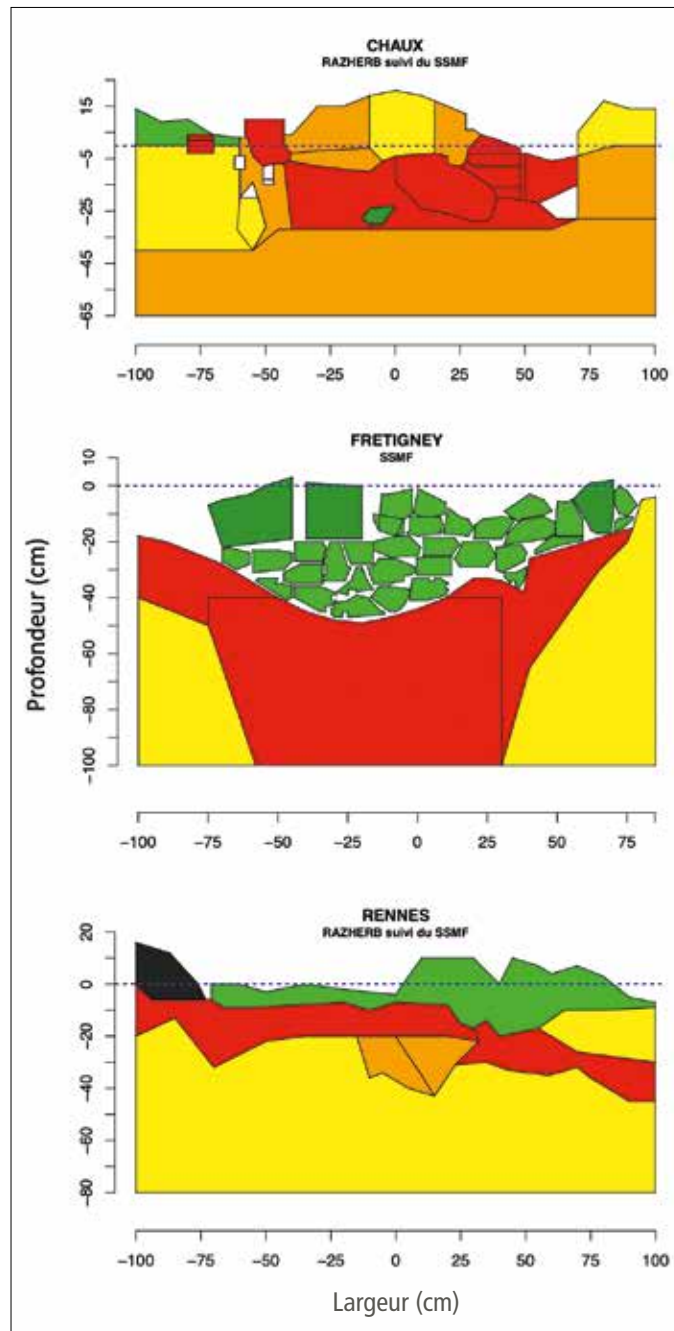


Figure 5. Profils culturaux réalisés dans les sites de Chaux, Frétigny et Rennes, pour le sous-soleur multifonction, en combinaison ou non avec le Razherb.

La figure 6 montre les impacts du travail au Culti3B, précédé du Razherb sur deux sites. La profondeur maximale atteinte par l'outil est de 48 et 70 cm à Chinon et Rennes, respectivement. La hauteur du billon se situe entre 15 et 20 cm dans les deux sites. À Rennes, le passage de l'outil a nettement amélioré la structure. L'état structural avant passage correspond à la zone noire « très défavorable » et l'outil permet d'obtenir une zone considérée comme très favorable. À Chinon aussi, même si le sol a été tassé sous les roues du tracteur, l'amélioration est manifeste sur la ligne de travail de l'outil. Reste à vérifier si l'enracinement ne risque pas de rester confiné dans ce sillon « confortable », au risque de compromettre la stabilité future du peuplement.

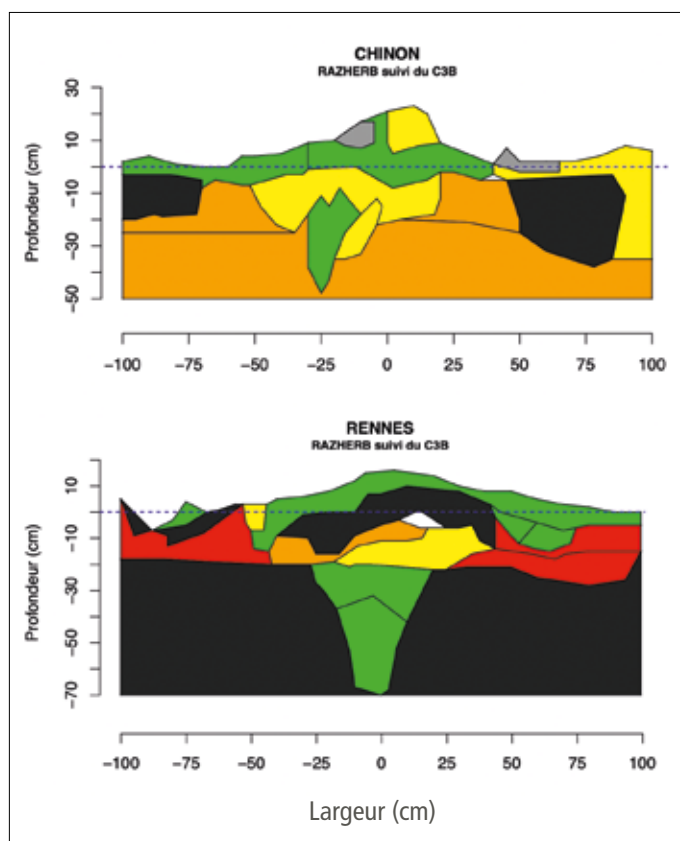


Figure 6. Profils culturaux réalisés dans les sites de Rennes et Chinon après travail au Culti-3B précédé du Razherb.

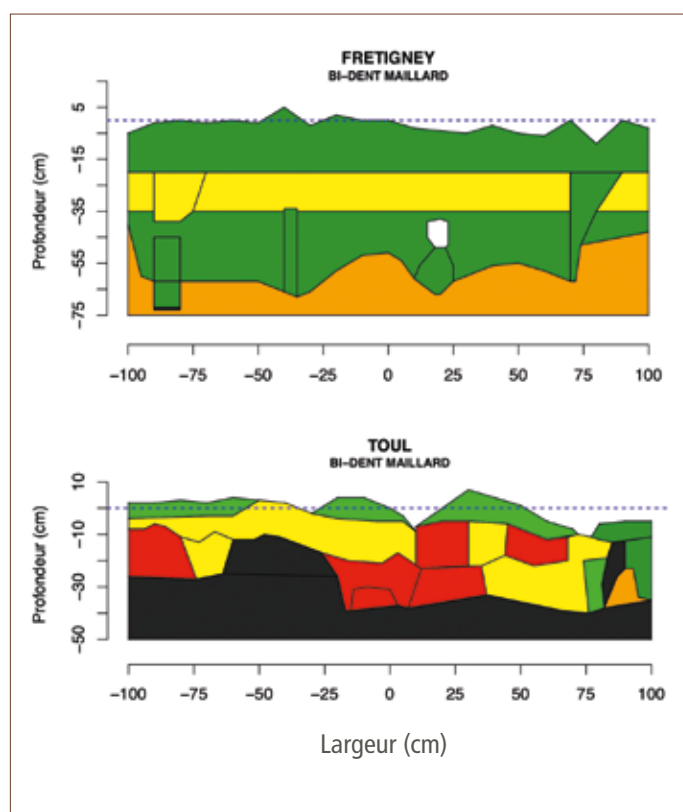


Figure 7. Profils culturaux réalisés dans les sites de Frétagne et Toul après passage de la bi-dent Maillard.

La figure 7 montre les impacts de la bi-dent Maillard, sur deux sites. La profondeur maximale atteinte diffère fortement entre les sites de Frétagne et Toul : 70 et 40 cm respectivement. La qualité de l'état structural diffère également : l'outil a permis d'obtenir une qualité assez favorable à favorable à Frétagne, alors que de nombreuses zones défavorables voire très défavorables sont observées à Toul. À Frétagne, le travail a été fait sur un sol limoneux bien ressuyé (ni trop humide ni trop sec). Mais à Toul la variabilité pédologique est plus contrastée, avec une charge notable en éléments grossiers, et les conditions étaient particulièrement sèches.

## Impacts de la PMS sur la structure du sol

Le profil cultural permet de décrire avec précision le travail de l'outil et ses impacts sur la structure du sol. L'analyse des différents profils montre que la qualité du résultat dépend de plusieurs facteurs qui agissent de façon combinée :

- **Le contexte pédologique.** Un outil peut avoir des impacts très différents suivant le type de sol rencontré. Les différentes textures ont des propriétés physico chimiques qui déterminent leur sensibilité au passage des outils et à la circulation des engins. Par exemple, les limons et les argiles peuvent se lisser sous l'effet de la pression exercé par l'outil. La circulation de l'eau dans le sol et les modifications potentielles suite à la PMS constituent un point sensible dans le cas des sols hydromorphes.
- **Les conditions lors de l'intervention** et, tout particulièrement, la teneur en eau du sol. Dans des conditions trop humides, le passage de l'outil peut créer des lissages importants. À l'inverse, en conditions trop sèches, la préparation peut créer des mottes non cohésives avec de nombreux vides. Dans ces deux cas, des aggravations de la situation initiale peuvent apparaître.
- **La dextérité ou l'expérience de l'opérateur.** Certains outils requièrent une formation spécifique du conducteur d'engin. Un conducteur peu expérimenté ou maîtrisant mal l'outil fournira une préparation de moindre qualité : profondeur de travail insuffisante, végétation non supprimée, horizons plus mélangés. La description du profil permet d'observer ces effets.

D'autres facteurs (végétation en place, pente, obstacles) influent également sur la qualité du travail réalisé, mais ne sont pas documentés dans le cadre de cet article.

Nos constats soulignent la nécessité de bien connaître les impacts potentiels des méthodes de PMS et, pour chaque chantier de plantation, de réaliser un diagnostic permettant de décider de l'opportunité d'une PMS et de choisir la méthode la plus adaptée. Il semblerait donc judicieux de concevoir des outils de diagnostic simplifiés, applicables en gestion courante, qui pourraient être dérivés des outils actuellement développés en agronomie.

## Apports de la méthode à l'étude de la PMS en plantation forestière

Le profil cultural permet de mettre en évidence certains impacts positifs ou négatifs de la PMS sur la structure des sols et de soulever des points de vigilance sur les outils utilisés, dans certains contextes pédologiques ou météorologique, notamment lors de conditions trop sèches ou trop humides.

Il se base sur une observation directe et détaillée du travail réalisé et, par-là, fournit des informations indispensables à l'évaluation des performances techniques et de l'impact environnemental des outils utilisés, pouvant mener, si nécessaire, à l'amélioration des outils, des méthodes de travail avec ces outils et des itinéraires de plantation.

Dans un objectif opérationnel, ces observations peuvent servir de base à l'élaboration de recommandations sur l'utilisation des outils en fonction des contextes rencontrés. En outre, la méthode du profil cultural est un outil pédagogique très intéressant pour former les opérateurs et les prescripteurs à l'utilisation de la PMS, et les sensibiliser aux pratiques respectueuses des sols.

Dans une perspective de recherche, l'analyse de l'impact des outils sur la fertilité chimique et sur l'activité biologique du sol semble nécessaire pour comprendre l'ensemble des effets de la PMS sur le sol. La connaissance des modifications de la structure du sol induites par la PMS, apportée par nos travaux actuels, est une étape fondamentale pour ces futures études.

## Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les collègues de terrain, sans lesquels ces travaux n'auraient pas pu être menés à si bon terme.

### \*Définitions

**RENFOR** = pôle INRA-AgroParisTech-ONF de recherche, de développement technique et de transfert dédié au RENouvellement des peuplements FORestiers

**ARAA** = Association pour la Relance Agronomique d'Alsace. À la croisée de la recherche appliquée et du développement agricole, cette association œuvre pour une agriculture durable en Alsace en exerçant ses compétences dans divers domaines : qualité de l'eau, qualité des sols, érosion, ruissellement, productions végétales...

## Bibliographie

Henin S., Gras R., Monnier G., 1969. Le profil cultural (2e édition). Ed. Masson. Paris.

Löf M., 2000. Influence of patch scarification and insect herbivory on growth and survival in *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* L. and *Quercus robur* L. seedlings following a Norway spruce forest. *Forest Ecology and Management*, vol. 134, pp.111-123

Löf M., Dey D.C., Navarro R.M., Jacobs D.F., 2012. Mechanical site preparation for forest restoration. *Springer Netherlands. New Forests*, vol. 43 pp.825-848

Manichon, H., et Gautronneau, Y., 1987. Guide méthodique du profil cultural. ISARA & INA-PG. 62 p. En ligne : <<http://profilcultural.isara.fr/images/stories/guide.pdf>>

Prévost M., 1992. Effets du scarifiage sur les propriétés du sol, la croissance des semis et la compétition : revue des connaissances actuelles et perspectives de recherches au Québec. *Annals of Forest Science*, Vol. 49 n° 3, pp. 277-296

Roger-Estrade J., Labreuche J., Boizard H., 2014, Importance du travail du sol : typologie des modes de mise en œuvre et effets sur les rendements des cultures. In : *Faut-il travailler le sol ? Acquis et innovations pour une agriculture durable*. Ed. Quae, Versailles. pp.11-25