

# Assurer la reprise des plants tout en préservant le sol : raisonner la préparation mécanisée du site avant plantation

La préparation mécanisée du site (PMS) avant plantation est aujourd'hui largement répandue pour contrôler la végétation concurrente et décompacter le sol. Si elle peut faciliter le travail des planteurs et favoriser l'installation des plants, elle peut aussi fortement impacter le fonctionnement du sol. Des réseaux expérimentaux testent différentes méthodes et intensités de PMS et fournissent désormais des données qui permettent de l'optimiser. Ils ont permis de montrer que les années humides, la PMS a peu d'effet car la survie des plants est bonne. Et les années sèches, seule la PMS d'intensité forte augmente significativement la survie des plants. Les résultats montrent également que lorsqu'elle est localisée à proximité immédiate des plants, la PMS a un impact réduit sur le fonctionnement du sol, par limitation de la surface travaillée par l'outil. Les méthodes qui réalisent une préparation intense et localisée offrent donc un bon compromis pour assurer la reprise des plants tout en préservant le sol.

## Contexte et enjeux

La plantation est un outil central pour adapter la forêt aux changements climatiques et aux attentes multiples de la société. Elle permet de renouveler les peuplements dans toutes les situations où la régénération naturelle ne fournit pas les semis attendus pour atteindre les objectifs fixés par le propriétaire : (1) destruction du peuplement antécédent et absence de production de graines ; (2) difficultés avérées d'obtention de la régénération naturelle dans les parcelles considérées ; (3) volonté de changer d'essence pour installer une nouvelle essence considérée comme mieux adaptée aux conditions climatiques futures attendues ; ou encore (4) volonté d'installer une essence ou une provenance bénéficiant des programmes d'amélioration génétique pour produire des bois qui répondent aux attentes de la filière aval.

La Préparation Mécanisée du Site (PMS) avant plantation est actuellement largement pratiquée en France et à travers le monde pour faciliter l'installation des plants. Sa première action est de réduire le développement de la végétation

spontanée qui pousse autour des jeunes plants, entre en compétition avec eux pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux, et peut alors mettre en danger leur survie. La réalisation d'une PMS permet ainsi d'améliorer la survie et la croissance des plants, tout particulièrement dans les situations où la disponibilité en eau pour les plants est limitée et où la compétition exercée par la végétation spontanée est forte.

La PMS agit également sur les horizons superficiels du sol, avec des actions recherchées (décompaction des horizons tassés, billonnage des sols engorgés) mais parfois des effets secondaires défavorables (tassement, phénomènes de lissage ou de fluage, lessivage des éléments minéraux, déstockage du carbone organique du sol). Ces effets sur la structure et la richesse chimique des sols peuvent perdurer jusqu'à plusieurs décennies.

Dans le double contexte actuel d'étés plus chauds et plus secs qui sont très défavorables à l'installation des plants, et de dégradation des sols forestiers causés par la mécanisation

croissante des opérations sylvicoles, l'enjeu est de déterminer le bon compromis qui permet à la fois d'assurer l'installation des plants et de préserver les propriétés et les fonctions des sols. Un large éventail d'engins et d'outils mécanisés sont actuellement disponibles pour réaliser les PMS, qui peuvent avoir des impacts très différents, que ce soit sur la végétation ou sur le sol. Il s'agit alors d'identifier les méthodes de PMS qui permettent de réaliser au mieux ce compromis.

## Réaliser une PMS intense pour assurer la reprise des plants

La PMS facilite l'installation des plants en premier lieu grâce au contrôle de la végétation spontanée autour des plants. Les différentes méthodes de PMS sont connues pour avoir des impacts très différents sur la végétation. Par ailleurs, l'effet de la compétition pour l'eau exercée par la végétation sur les plants est généralement plus marqué en conditions sèches, que ce soit dans les stations à faible réserve hydrique ou au cours d'épisodes de sécheresse. Ainsi, on s'attend à ce que les méthodes de PMS qui exercent un fort contrôle de la végétation spontanée permettent une meilleure installation des plants que les méthodes qui exercent un faible contrôle de la végétation, et que cet écart soit plus marqué en conditions de sécheresse.

Nous avons utilisé les réseaux expérimentaux ALTER et PILOTE (Encadré 1) pour analyser l'impact de la PMS sur la reprise de plantation, dans des conditions de sécheresse estivale contrastées. L'effet des différentes méthodes de PMS sur la végétation spontanée, située à proximité immédiate des jeunes plants, a été estimé en mesurant le recouvrement de la végétation dans un carré de 1 m<sup>2</sup> autour des plants au cours de la première saison de végétation. Ces mesures sont comparées au recouvrement mesuré dans des placettes témoin sans PMS. Il est alors possible de distinguer deux grandes catégories de PMS :

- Les méthodes d'intensité « forte » qui éliminent plus de 70 % de la végétation, en comparaison avec les témoins sans PMS.
- Les méthodes d'intensité « moyenne » qui éliminent moins de 70 % de la végétation, en comparaison avec les témoins sans PMS.

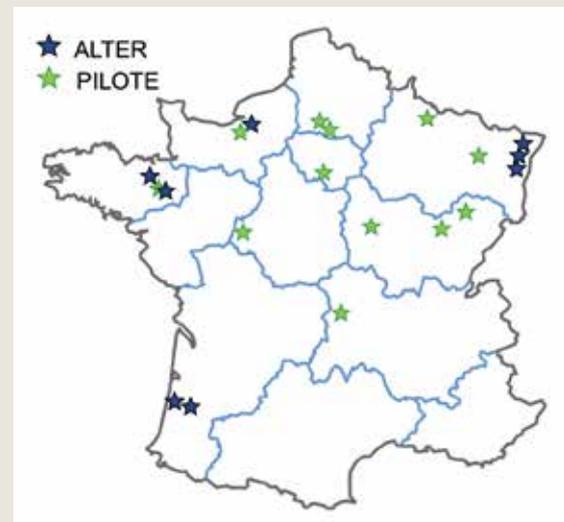
Le tableau 1 montre des exemples de méthodes de PMS testées dans les réseaux expérimentaux.

Dans chaque dispositif, la survie des plants des différentes placettes expérimentales (avec PMS forte, avec PMS moyenne, ou sans PMS) a été évaluée en fin de première saison de végétation. La sécheresse estivale de chaque site pendant l'année de plantation a été estimée par un indice de sécheresse météorologique dénommé SPI (pour Standardized Precipitation Index), fourni par météo France<sup>1</sup>. Cet indice est calculé à partir des précipitations des mois de juin, juillet et août et standardise la pluviométrie de l'année par la pluviométrie de référence calculée sur 30 ans (1981-2010). Il permet, pour chaque site, de distinguer les années plus pluvieuses ou moins pluvieuses que la normale.

## ALTER et PILOTE, deux réseaux pour évaluer les performances des méthodes de PMS

Les réseaux ALTER et PILOTE sont constitués de plantations expérimentales installées principalement dans la moitié nord de la France. L'installation des dispositifs s'est échelonnée entre 2007 et 2024, période qui a comporté des années marquées par de fortes sécheresses estivales ou printanières, ainsi que des années avec des conditions plus humides. Les essences plantées variaient selon les dispositifs : chêne sessile, chêne pédonculé, sapin de Douglas, pin maritime, pin sylvestre, ou pin Laricio. Chaque dispositif comparait plusieurs méthodes de PMS, adaptées aux contraintes locales et qui différaient donc selon les dispositifs. Au total, plus de 20 méthodes ont été testées. Ces réseaux permettent donc de comparer des méthodes de PMS, sur différentes essences et dans une large gamme de conditions pédoclimatiques en France.

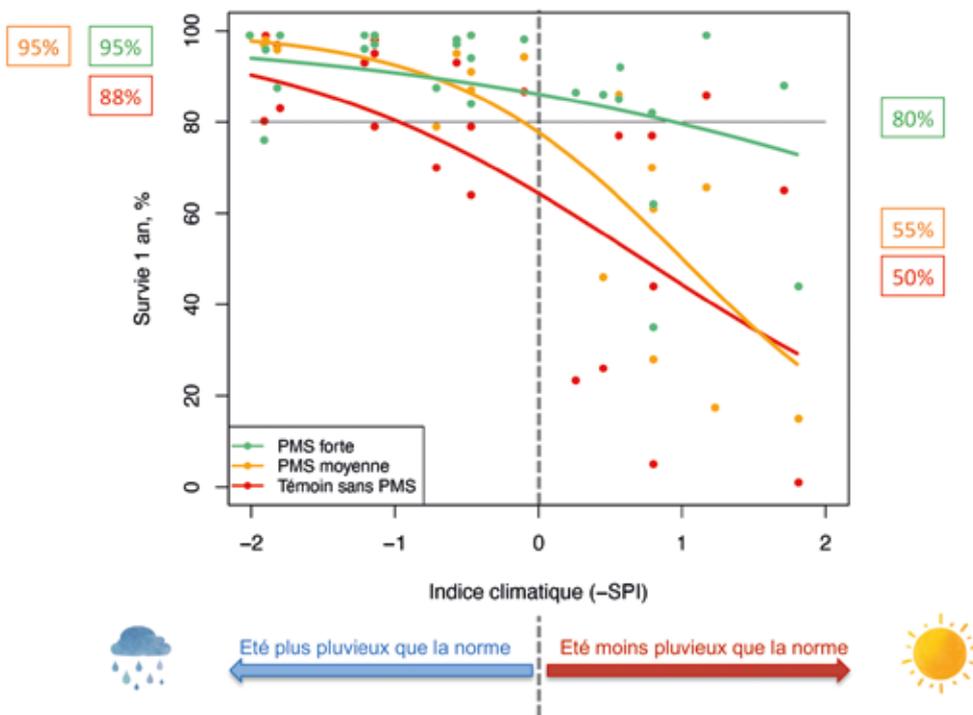
Lors de l'installation, la productivité et l'ergonomie de la PMS et la plantation ont été évaluées. Les impacts de la PMS sur certaines propriétés du sol ont été estimés immédiatement ou quelques années après la PMS. Des mesures régulières ont permis de suivre la survie et la croissance des plants, ainsi que le développement de la végétation spontanée pendant 10 ans.



↑ Figure 1. Distribution géographique des plantations expérimentales des réseaux ALTER et PILOTE

↓ **Tableau 1.** Vues de quelques méthodes de PMS testées dans les réseaux ALTER et PILOTE : outil, machine et zone préparée, au cours de la première saison de végétation. Les méthodes 1 à 3 ont été considérées d'intensité moyenne, et les méthodes 4 et 5 d'intensité forte.

Outil	Outil et machine	Zone préparée	
1. Charrue à disques tractée			
2. Sous soleur tracté			
3. Charrue à socs tractée			
4. Sous Soleur Multi Fonction monté sur mini pelle			
5. Scarificateur Réversible monté sur mini pelle			



← **Figure 2.** Survie en fin de première année en fonction de la sécheresse estivale, dans des parcelles comparant des méthodes de préparation mécanisée du site : PMS forte (en vert), PMS faible (orange), témoin sans PMS (rouge). Chaque point représente une parcelle comportant environ 100 plants. Les courbes représentent les modèles statistiques ajustés sur les données. L'indice de pluviométrie standardisé (SPI) est un indice de sécheresse climatique qui permet de distinguer, pour chaque site, les étés plus pluvieux (SPI>0) ou moins pluvieux (SPI<0) que la normale. La survie moyenne, tous sites confondus, est indiquée pour chacun des 3 niveaux de PMS, pour les étés plus pluvieux (valeurs à gauche du graphique) et pour les étés moins pluvieux (valeurs à droite du graphique) que la norme.

Dans nos dispositifs, la reprise des plants variait fortement selon le niveau de sécheresse estivale (dépendant du site et de l'année) et selon le type de PMS réalisée (Figure 2). Notre échantillonnage n'a pas permis de faire ressortir des différences entre les essences plantées, qui ont donc été toutes regroupées dans la Figure 2.

Pour les plants installés dans les parcelles témoins sans PMS, le taux de survie était de 88 % en moyenne pour l'ensemble des années caractérisées par un été plus pluvieux que la norme. La survie a fortement chuté quand la pluviométrie estivale diminuait, pour atteindre 50 % en moyenne les années caractérisées par un été moins pluvieux que la norme. Pour les plants installés après PMS moyenne, la survie était de 95 % les années pluvieuses et de 55 % les années sèches. Pour les plants installés après PMS forte, ces mêmes valeurs étaient de 95 % et 80 %, respectivement.

En résumé, les années caractérisées par un été pluvieux, la PMS qu'elle soit moyenne ou forte permet un gain de survie de 8 % et, dans tous les cas, avec ou sans PMS, la survie moyenne est supérieure au taux contractuel des garanties de reprise habituelles (80 %). **En revanche, les années sèches, les PMS d'intensité moyenne n'améliorent pas la survie des plants par rapport à un témoin sans PMS, alors que les PMS d'intensité forte augmentent significativement la survie (+30 %) et permettent d'atteindre, en moyenne, le taux contractuel de garantie de reprise.**

## Doser la PMS pour préserver le fonctionnement du sol

Lors de la PMS, l'outil qui pénètre dans le sol peut retourner, déplacer, mélanger, lisser, drainer, compacter ou décompacter les horizons du sol (Encadré 2), actions qui vont modifier le fonctionnement physique, chimique et biologique de ces horizons. Parmi les effets de la PMS, la diminution du stock de Carbone Organique du Sol (COS) (Encadré 3) dans les horizons superficiels a été largement documentée. Le retournement et le mélange des horizons favorisent l'incorporation de la matière organique dans le sol, l'aération et le drainage accélèrent la décomposition et la minéralisation de la matière organique, pouvant ainsi provoquer une libération massive de carbone suite à la réalisation d'une PMS.

Nous avons utilisé les réseaux ALTER et PILOTE pour étudier les effets de la PMS sur les stocks de COS dans les horizons superficiels du sol (litière comprise) et, plus particulièrement pour estimer dans quelle mesure une PMS réalisée de façon localisée à proximité des plants permettait de réduire l'impact sur le stock de COS, en comparaison avec une PMS qui serait réalisée en plein sur la parcelle<sup>3</sup>.

## Impacts de la PMS sur la structure du sol

La caractérisation des effets de la PMS sur les propriétés physiques du sol est indispensable pour analyser les bénéfices ou les contraintes engendrés sur le fonctionnement du sol et pour le plant. La PMS modifie de nombreuses caractéristiques édaphiques : densité apparente, teneur en eau et en nutriments, température, teneur en matière organique, stock de carbone, le type et l'intensité des modifications induites varient fortement selon le type de sol et les outils utilisés.

Pour analyser les impacts positifs ou négatifs induits par la PMS, nous avons adapté aux contextes forestiers une méthode développée en agronomie.

La méthode dite « du profil cultural » consiste à ouvrir une fosse perpendiculairement au sens d'avancement de l'outil et à délimiter sur le front de fosse, les zones de structure homogènes et les perturbations éventuelles causées par le passage de l'outil et du porte-outil<sup>2</sup>. Les descriptions réalisées dans des dispositifs expérimentaux, sur des textures de sols variées ont permis de mettre en évidence des impacts positifs et négatifs de la PMS sur la structure.

Les impacts positifs se traduisent par une augmentation du volume de sol prospectable et une réduction des zones compactées, qui améliorent la porosité et permettent un meilleur enracinement. Des impacts négatifs peuvent également être générés. Ils sont illustrés ci-dessous.

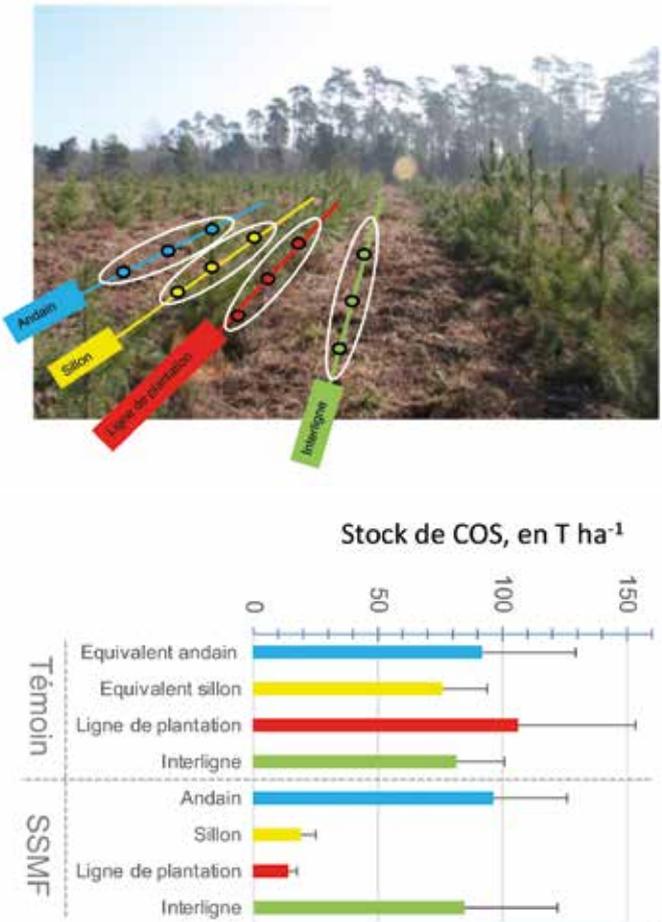


↑ **Figure 3.** (a) et (b) Apparition de zones préférentielles de circulation d'eau qui peut provoquer une augmentation localisée de l'engorgement en présence d'un plancher imperméable dû à l'argile ou à un horizon compact ; (c) et (e) création de vides suite au passage de l'outil dans le sol ; (d) apparition d'une structure lamellaire issue d'une réorganisation horizontale de la porosité, causée par le roulage des portes outils qui tassent les horizons de surface ; (f) phénomènes de lissage et de plissage suite au passage de l'outil dans le sol.

## Le Carbone Organique du Sol (COS)

Le carbone organique est le composé principal des matières organiques du sol (50 % environ) : débris végétaux (chute de litière, bois mort, etc.), nécromasse animale et microbienne (bactérienne et fongique). Le carbone organique est intégré au sol au fur et à mesure de la décomposition des matières organiques par les communautés du sol (faune du sol puis cortèges microbiens). Le COS est reparti verticalement au sein du profil de sol : les horizons superficiels (couches de litière, horizons organo-minéraux) sont les plus riches en carbone. Dans le sol, le carbone est présent sous forme de molécules plus ou moins complexes (donc plus ou moins difficiles à dégrader), qui sont associées aux éléments minéraux du sol ou protégées dans les agrégats du sol. Ces mécanismes conduisent à la **stabilisation des matières organiques**. Le carbone est alors **stocké dans le sol**, parfois sur le très long terme (>1000 ans). La dynamique de stockage du carbone en profondeur dans les sols est donc très lente. En moyenne, les sols forestiers français stockent autour de 100 tonnes de carbone/ha, mais ces quantités dépendent surtout du type de sol et du contexte climatique. Du fait de leur rôle de réservoir de carbone organique sur le long terme, les sols forestiers contribuent fortement à l'atténuation du changement climatique.

Le déstockage du COS survient lorsque des matières organiques, jusqu'alors stockées dans le sol, se retrouvent dégradées par des microorganismes stimulés par l'arrivée soudaine d'oxygène ou de matière organique fraîche en profondeur. Lors de la PMS, le travail du sol provoque l'aération du sol, la destruction des agrégats du sol ou parfois l'incorporation en profondeur de matière organique fraîche issue de la surface. C'est ainsi que le COS peut être minéralisé et déstocké sous forme de CO<sub>2</sub> relargué dans l'atmosphère. Le déstockage du carbone stable issu des horizons profonds est très dommageable car il s'agit de carbone très ancien, accumulé sur le long terme, la reconstitution du stock à son niveau initial est très lente, surtout lorsque la qualité du sol a été dégradée (tassement, appauvrissement chimique, érosion, etc.).



↑ **Figure 4.** Comparaison du stock de carbone organique des horizons superficiels du sol entre une placette avec PMS et une placette témoin sans PMS. Les sondages ont été réalisés dans 4 zones (ligne de plantation, interligne, mini-andain et sillon créés par la PMS) dans une placette préparée avec un scarificateur combiné à un Sous Soleur Multi Fonction (SSMF) montés sur mini-pelle. Des zones équivalentes sont délimitées dans la placette témoin selon la distance aux plants dans la zone travaillée. La parcelle est située en forêt de Bord-Louviers sur un sol ocre podzolique sur alluvions limono-sableuses à charge faible à moyenne en cailloux. Les sondages, réalisés 4 ans après la plantation, ont prélevé la litière et le sol jusqu'à 10 cm de profondeur.

La figure 4 compare les stocks de COS mesurés dans une placette témoin sans PMS et dans une placette préparée à l'aide d'un scarificateur combiné à un Sous Soleur Multi Fonction (SSMF) monté sur minipelle selon un travail sur la ligne de plantation avec création d'un billon. Dans la parcelle travaillée, nous avons différencié 4 zones parallèles aux lignes de plantation : la ligne de plantation, le sillon créé par le SSMF, le mini-andain créé par le SSMF (zone de dépôt des débris végétaux retirés de la ligne de plantation par l'outil), et l'interligne indemne de toute préparation. Le travail du sol localisé lors de la PMS provoque une diminution marquée du stock de COS dans les zones travaillées (ligne de plantation et sillon) : 91 T.ha<sup>-1</sup> en moyenne dans le témoin contre 16 T.ha<sup>-1</sup> après passage du SSMF. La forte baisse des COS dans les zones travaillées s'explique en

partie par la faible teneur en argile du sol sur le site de Bord-Louviers (figure 4). En revanche, les valeurs dans les mini-andains et dans les interlignes sont similaires dans les deux placettes, égales à 88 T.ha<sup>-1</sup> en moyenne. Le travail du sol provoque donc une redistribution horizontale et verticale dans le cas du SSMF au sein de la placette du stock de COS. Toutefois, si l'on somme les stocks de COS des quatre zones, en les pondérant par leurs surfaces respectives dans les placettes, nous n'avons pas observé de différences statistiquement significatives entre les deux placettes. La forte baisse du stock de COS dans les zones travaillées est donc attribuable pour partie à la minéralisation du carbone (déstockage) mais aussi à une redistribution du carbone au sein de la placette.

**Ces résultats montrent que la PMS, localisée à proximité des plants, permet de réduire l'effet du travail du sol sur le COS à l'échelle de la parcelle plantée en réduisant la surface travaillée par l'outil.**

Nous venons d'illustrer l'impact de la PMS sur le fonctionnement du sol, en prenant l'exemple du stock de COS. De façon très similaire, nous observons qu'une PMS localisée permet de réduire les perturbations induites sur la structure du sol. Pour poursuivre ces études, nous cherchons actuellement à quantifier les impacts de la PMS sur la diversité taxonomique et fonctionnelle des communautés hébergées par le sol (bactéries, fonge, micro-, méso- et macro- faune) et, selon nos connaissances actuelles sur leurs comportements face à des perturbations du sol, nous nous attendons à observer des effets négatifs de la PMS, qui seraient d'autant plus limités que les préparations sont localisées autour des plants.

## Le bon compromis : une PMS intense et localisée ?

Pour commencer, rappelons que la décision de réaliser une PMS doit être prise uniquement si les contraintes stationnelles l'imposent et compromettent la réussite de la plantation, notamment en cas de forte concurrence végétale. De plus, quel que soit l'outil choisi, l'efficacité de la préparation et la préservation du sol dépendent directement de la réalisation de la PMS dans des conditions adéquates d'humidité du sol, ni humide, ni trop sec.

**Pour concilier les deux objectifs d'assurer la reprise des plants et de préserver le sol, nous recommandons de réaliser une PMS qui assure un contrôle efficace de la végétation dans le voisinage immédiat des plants, et qui laisse le sol intact au-delà de ce voisinage.**

Le contrôle de la végétation doit éliminer la végétation compétitrice en place et prévenir une recolonisation trop rapide, qui pourrait rejeter à partir des rhizomes restés vivants ou qui pourrait germer à partir de la banque de graines dormantes dans le sol. Ce contrôle demande un travail du sol à une profondeur suffisante (de 15 à 45 cm de profondeur, selon la végétation présente) pour détruire les racines à l'aide d'outils de type dents, herse ou soc, ainsi qu'un décapage des horizons superficiels dans lesquels se situe l'essentiel de la banque de graines, à l'aide d'un outil de type râteau, godet, ou soc. Selon l'outil choisi, les horizons décapés peuvent être déplacés latéralement et créer ainsi des mini-andains à proximité des plants, ou retournés et enfouis dans le sol.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1. Organisation météorologique mondiale (2012). Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, 25p.
- 2. Vast F, Collet C, Koller R, Pousse N, Richter C (2020). Le profil cultural : une méthode d'observation pour analyser les impacts de la préparation mécanisée du site sur la structure du sol. Rendez-vous techniques. 63-64, 57-64.

Le travail du sol doit être limité à la profondeur nécessaire pour éliminer les racines des espèces les plus compétitives vis-à-vis des plants, mais sans aller au-delà. De même, la surface travaillée doit être réduite au minimum nécessaire pour contrôler ces espèces, ce minimum pouvant varier fortement entre les espèces considérées (un cercle de rayon de 30 à 50 cm pour les graminées, et de 1 à 2 m pour la fougère aigle). Le décapage et le déplacement des horizons supérieurs entraînent une forte réduction de la matière organique et de la richesse minérale du sol dans le voisinage immédiat des plants. Il faut donc également limiter la surface décapée au strict nécessaire (un cercle de rayon de 30 à 50 cm suffit généralement).

Les outils montés sur mini ou midi pelle sont particulièrement appropriés pour réaliser une PMS intense et localisée, tout en restant sur les cloisonnements, et la large gamme d'outils existant permet de s'adapter à la végétation à contrôler. Néanmoins, si ces outils offrent un bon compromis entre le contrôle de la végétation et la préservation du sol, ils présentent également des limites sur d'autres plans, comme une faible productivité horaire et, pour le chauffeur de la machine, un moins bon confort et une pénibilité accrue, en comparaison avec d'autres types de machines utilisées pour la PMS. Au-delà de la recherche du meilleur compromis entre contrôle de la végétation et la préservation du sol, il importe de prendre également en compte ces critères supplémentaires dans le choix de la méthode de PMS.

**Catherine Collet**

INRAE - UMR Silva, Pôle RENFOR

**Emila Akroume**

ONF - Pôle Recherche, Développement et Innovation, DT Bourgogne Franche-Comté

**Vincent Boulanger**

ONF - Pôle Recherche, Développement et Innovation, DT Seine-Nord

**Fabrice Bureau**

Univ Rouen Normandie, INRAE, Normandie Univ, ECODIV

**Lucas Poullard**

ONF - Département Recherche, Développement et Innovation, & Univ Rouen Normandie, INRAE, Normandie Univ, ECODIV

**Malaurie Puyal**

ONF - Pôle Recherche, Développement et Innovation, DT Seine-Nord

**Jean-Pascal Franco**

ONF - Département Recherche, Développement et Innovation, pôle RENFOR

**Florian Vast**

INRAE - UMR Silva, Pôle RENFOR

