Restauration active des sols forestiers endommagés

Juan Luis Flores Fernández – Peter Hartmann

NDLR. Nous remercions les auteurs et la revue FVA-einblick *éditée par le centre de recherches forestières du Bade-Wurtemberg (FVA) d'avoir autorisé la publication dans la* Revue forestière française *de cette traduction française d'un texte paru dans le n° 2/2017.*

Les dommages causés au sol par la circulation des machines en forêt perturbent la structure naturelle du sol et réduisent la croissance des racines des arbres. Plusieurs raisons expliquent ce phénomène. Les sols forestiers sont compactés en raison des déplacements répétés de machines lourdes. En outre, après d'importants dommages abiotiques tels que la tempête Lothar en 1999, l'abattage et la sortie des bois ne se déroulent pas dans des conditions optimales. En raison de la pression sur les délais, les engins roulent hors des cloisonnements d'exploitation, ou ne respectent pas les restrictions qu'impose l'humidité élevée du sol.

Les résultats de l'enquête BZE II sur l'état des sols ont montré que seul un tiers des sols forestiers dans le Bade-Wurtemberg ne présente pas de dégâts. Les déformations les plus importantes ont été observées dans les contreforts de la Forêt-Noire, dans les zones à loess du pays du Neckar et dans les contreforts des Alpes, c'est-à-dire principalement sur des sols relativement pauvres en cailloux et de bonne potentialité.

En réponse aux dégâts inquiétants causés aux sols, les länder allemands ont adopté des directives sur la protection des sols. Dans le Bade-Wurtemberg, le ministère de l'espace rural et de la protection des consommateurs (MLR 2003) a fixé des lignes directrices pour une exploitation forestière fine. Bien que ces directives soient prises en compte dans la gestion forestière, le problème n'est pas résolu. Certes, la circulation ne touche que 10 à 20 % de la surface des parcelles mais même en ces endroits, les fonctions de base du sol et l'accessibilité doivent pourtant être conservées durablement. La restauration spontanée des sols compactés prend beaucoup de temps et bien souvent elle n'est pas complète. L'objet du projet de recherche « Restauration active des sols forestiers endommagés » est donc de soutenir la restauration des sols au moyen de traitements mécaniques et biologiques actifs afin de surmonter les effets négatifs du compactage.

MESURES BIOLOGIQUES ET TECHNIQUES DU SOL

La zone d'essai est située à environ 14 km à l'est d'Ulm, dans le Schwäbisches Alb, à une altitude d'environ 680 m. En avril 2012, un porteur HSM 208F de 25 tonnes a circulé sur un sol

limono-argileux (photo 1, ci-dessous). Trois traces de circulation d'une longueur de 70 m et d'une largeur de 5 m ont été créées.



Photo 1 Porteur HSM 208F (poids total de 25 t) lors de la conduite sur la zone d'essai.
Photo K. v. Wilpert

Afin d'étudier la restauration du sol compacté, différents traitements ont été appliqués sur les trois traces de circulation :

— un traitement chimique consistant à ajouter du calcaire sous la forme d'une roche dolomitique broyée, qui a été dispersée manuellement. L'apport de calcaire a pour but d'améliorer la formation des agrégats dans le sol et de réduire l'acidification du sol, favorisant ainsi l'activité biologique afin d'obtenir une restauration accélérée ;

— un traitement mécanique où les 10 à 15 premiers centimètres du sol ont été mélangés à des résidus végétaux (photo 2, p. 221). Cette incorporation de résidus végétaux entraîne l'introduction de particules organiques dans le sol ameubli, favorisant ainsi l'activité biologique.

Après ce traitement chimique ou mécanique, chaque zone a été plantée avec les espèces d'arbres suivantes : Aulne blanc (*Alnus incana*), Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), Bourdaine (*Rhamnus frangula* ou *Frangula alnus*) et Saule marsault (*Salix caprea*). Ces essences ont été sélectionnées en fonction de la connaissance qu'on a de leur culture et de leurs caractéristiques physiologiques (par exemple, résistance au gel et croissance rapide en terrain ouvert). Les deux espèces d'aulnes sont considérées comme bien adaptées aux conditions anaérobies, par exemple lors des inondations. Le Saule marsault fait partie de la végétation naturelle de la zone expérimentale. La Bourdaine pousse habituellement sur des sols humides, ombragés, acides et sableux avec proximité de la nappe d'eau du sol.





Photo 2 Traitement mécanique : l'horizon superficiel du sol est ameubli et mélangé de résidus végétaux.

Photo J. Schäffer

QUANTIFICATION DE LA RESTAURATION DU SOL

Des études intensives sont nécessaires pour quantifier la restauration des sols forestiers. Les mesures suivantes ont été prises :

— Chaque année en septembre, le taux de survie ainsi que les paramètres biométriques (diamètre au collet, hauteur, diamètre du houppier et longueur de la pousse) ont été enregistrés.

— En 2013, 87 collecteurs de gaz du sol ont été installés dans les traces traitées chimiquement ou mécaniquement et dans les zones témoins, pour déterminer la variation de la concentration de CO_2 dans le sol. Le gaz recueilli dans le sol a été analysé au laboratoire du FVA par chromatographie en phase gazeuse.

— La croissance des racines a été mesurée directement dans le sol. À cette fin, 16 rhizotrons ont été installés à une profondeur de 25 cm. Ainsi, chaque mois, une photo de l'enracinement pouvait être prise presque *in situ* au moyen d'un appareil numérique.

— La densité de racines fines (de diamètre inférieur à 2 mm) a été enregistrée en mars 2016 sur des transects dans l'ornière et au centre du chemin.

— Des mesures de paramètres de la structure du sol ont été effectuées tous les deux ans (2012, 2014, 2016) au moyen d'échantillons de 100 cm^3 du sol en place prélevés à la tarière cylindrique et analysés au laboratoire du FVA. Outre la porosité, la diffusion gazeuse a été

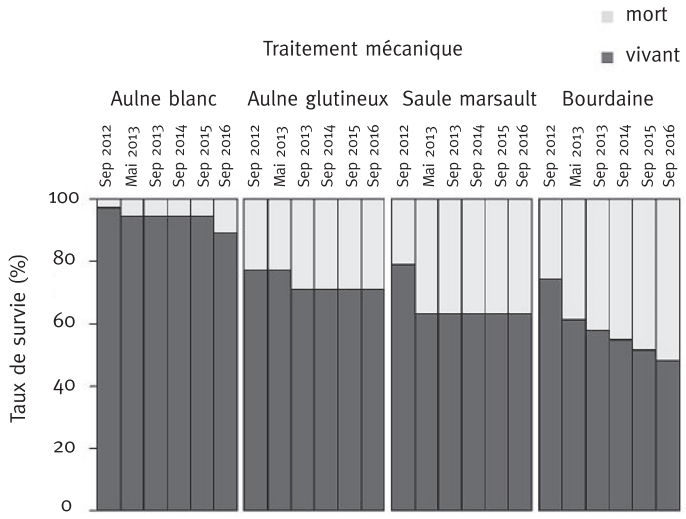
particulièrement étudiée. Les sols compactés montrent une porosité détériorée et, par conséquent, ils présentent une moins bonne diffusion des gaz.

PREMIERS SIGNES D'UNE RESTAURATION RÉUSSIE

Quelle essence d'arbre est adaptée ?

Des différences nettes ont été mises en évidence entre les essences d'arbres utilisées aussi bien qu'entre les différents traitements (figure 1, ci-dessous). Sur les traces de circulation traitées, toutes les espèces d'arbres présentaient un taux de survie plus élevé que sur les traces non traitées ou que sur les surfaces témoins non compactées. Les deux espèces d'aulnes (*Alnus incana* et *A. glutinosa*) affichaient les taux de survie les plus élevés avec des valeurs entre 71 et 96 %. Les taux de survie les plus bas ont été observés pour le Saule marsault et la Bourdaine. Les deux espèces d'aulnes présentaient également les paramètres biométriques les plus élevés pour toutes les modalités. Étant donné que les aulnes ont montré la meilleure adaptabilité aux conditions compactées, la suite des recherches s'est concentrée sur les zones plantées en aulnes.

Figure 1 **TAUX DE SURVIE (en %) POUR LES ESSENCES D'ARBRES SUR LES ZONES TRAITÉES MÉCANIQUEMENT ENTRE SEPTEMBRE 2012 ET SEPTEMBRE 2016**



Comment évolue l'aération ?

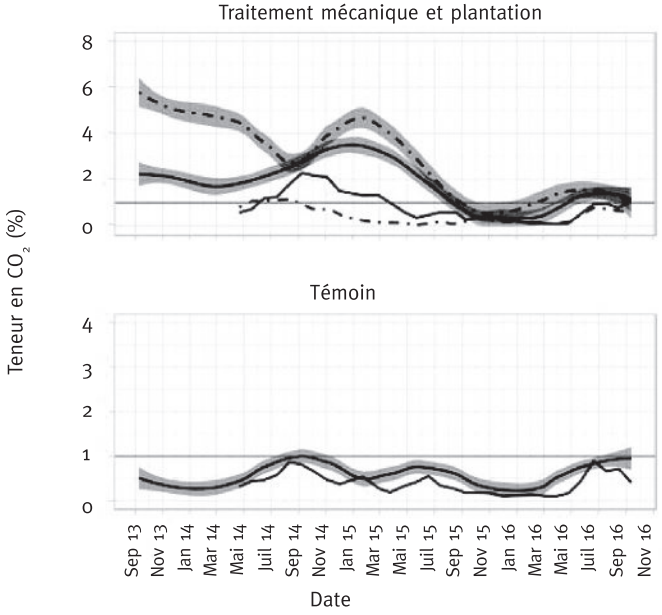
Au début des mesures de CO_2, toutes les surfaces compactées présentaient des valeurs de CO_2 significativement plus élevées que le témoin, ce qui indiquait clairement une perte de porosité grossière. Les sols à structure perturbée ont généralement des échanges gazeux réduits, ce qui entraîne une augmentation des concentrations de CO_2 dans le sol. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées sur la modalité traitement mécanique avec jusqu'à 8 % de CO_2. Ceci est dû à la dégradation des substances organiques introduites dans le sol par le traitement mécanique.

En 2015, une forte diminution des concentrations de CO_2 a été enregistrée dans toutes les zones. Cela a probablement été causé par l'extrême sécheresse de cette année-là : le fort assèchement du sol s'est accompagné de fentes de retrait, ce qui a amélioré l'aération du sol.

De manière générale, une amélioration de l'aération des sols de la plupart des zones a été observée pour la période 2014-2016 (figure 2, ci-dessous). Une amélioration importante peut être observée surtout dans les zones plantées et traitées. Ceci indique une restauration plus rapide grâce aux traitements. Les valeurs très élevées au début des mesures sont dues aux processus intensifs de dégradation des substances organiques du sol dans la modalité traitement mécanique.

Figure 2 **CONCENTRATIONS DE CO_2 DANS LES RHIZOTRONS (lignes non ombrées) ET DANS LES COLLECTEURS DE GAZ CORRESPONDANTS À UNE PROFONDEUR DE 25 cm (lignes grises ombrées avec des intervalles de confiance de 95 %) POUR LA SURFACE PAILLÉE ET PLANTÉE ET POUR LA ZONE TÉMOIN NON TASSÉE PAR LE PORTEUR**

Après deux ans, une réduction significative des émissions de CO_2 a déjà eu lieu, ce qui indique une amélioration des conditions d'aération.



Comment les aulnes s'enracinent-ils sur les sols compactés et traités ?

Depuis 2014, la croissance racinaire des aulnes est photographiée en rhizotron (photo 3, p. 224). Comme prévu, la plus forte croissance des racines a été observée dans la zone témoin non compactée. Pour les zones compactées et traitées, la plus forte croissance a été observée sur la modalité traitement mécanique et plantation, et la plus faible sur la modalité traitement mécanique sans plantation.

Les résultats des mesures en rhizotron sont confirmés par le nombre de racines fines sur les transects (figure 3, p. 224). La densité de racines fines la plus élevée dans l'horizon de surface (0 à 20 cm) est indiquée sur toutes les modalités. Les densités les plus élevées de racines fines ont

été trouvées sur la zone témoin non compactée et sur la modalité traitement mécanique et plantation (20 à 30 par 25 cm²). Sur ces zones, les densités de racines fines sont également élevées plus en profondeur. La plus faible densité de racines fines a été observée dans la modalité sans traitement ni plantation (10 à 15 par 25 cm²).

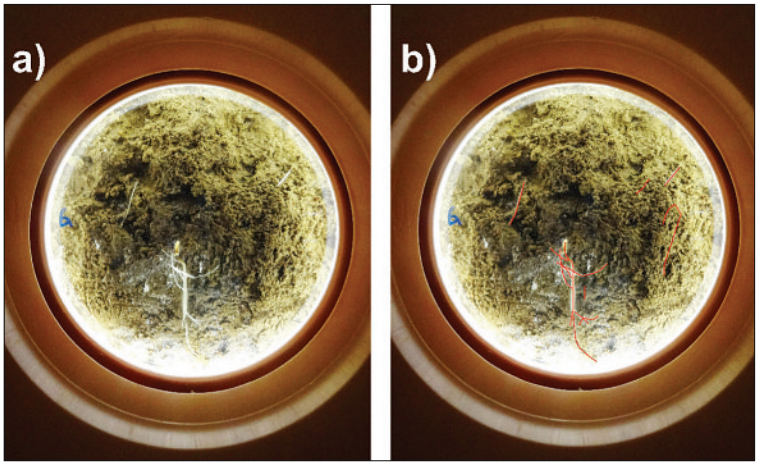
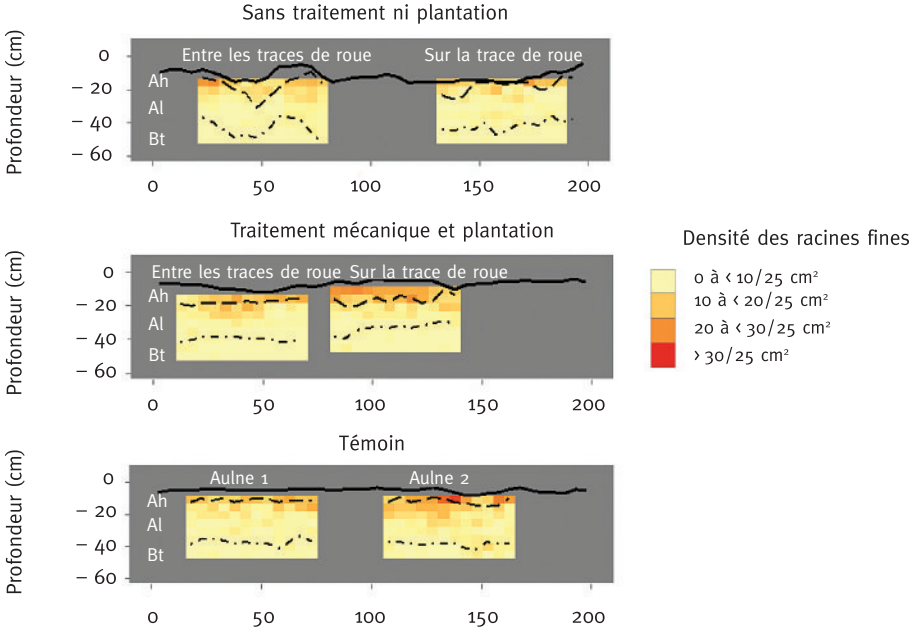


Photo 3 Vue des rhizotrons sans (à gauche) et avec (à droite en rouge) surlignage des accroissements.

Figure 3 **DENSITÉ DES RACINES FINES DANS LES MODALITÉS TRACES COMPACTÉES NON TRAITÉES NI PLANTÉES ; TRACES COMPACTÉES AVEC TRAITEMENT MÉCANIQUE ET PLANTATION ; ZONE TÉMOIN NON TASSÉE**

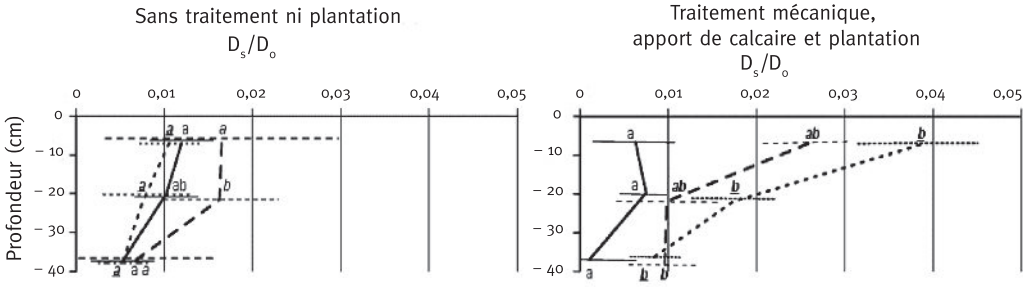


Cela entraîne-t-il une restauration réelle de la structure du sol ?

Outre l'augmentation de la densité des racines fines et la réduction des teneurs en CO_2 dans le sol, les valeurs de diffusion gazeuse déterminées en laboratoire indiquent également une restauration. Alors qu'il n'y a pas eu de modification significative des valeurs de diffusion des gaz sur la modalité non traitée ni plantée, une amélioration significative de ces valeurs (et donc des échanges gazeux) a été constatée sur les surfaces traitées (figure 4, ci-dessous).

Figure 4 **COEFFICIENTS DE DIFFUSION RELATIFS APPARENTS (D_S/D_0) À 160 HECTOPASCALS SELON LA PROFONDEUR POUR LA TRACE NON TRAITÉE NI PLANTÉE (à gauche) ET LES MODALITÉS TRAITEMENT MÉCANIQUE, APPORT DE CALCAIRE ET PLANTATION (à droite)**

La situation de départ en 2012 est représentée par la ligne continue ; l'évolution par la ligne tiretée (2014) et la ligne pointillée (2016). Des valeurs D_S/D_0 élevées traduisent une amélioration des échanges gazeux.



Quel traitement convient le mieux ?

Les deux espèces d'aulnes (*Alnus incana* et *A. glutinosa*) se sont révélées avoir les meilleures capacités d'adaptation. Des taux de survie élevés et de bons taux de croissance prouvent leur aptitude à la plantation sur des sols fortement compactés. En combinant la plantation d'essences d'arbres à forte activité racinaire avec différentes méthodes telles que le traitement mécanique et l'apport de calcaire, on a amélioré l'aération du sol, la pénétration des racines et la structure du sol. Toutefois, les effets se sont jusqu'à présent limités à la couche superficielle. Les investigations doivent être menées à plus long terme afin d'étudier les effets plus en profondeur. Malgré cela, les résultats obtenus jusqu'à présent laissent entrevoir des signes prometteurs d'une accélération de la restauration des sols grâce à des mesures ciblées.

Juan Luis FLORES FERNÁNDEZ – Peter HARTMANN
Forstliche Vesuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg (FVA)
Abteilung Boden und Umwelt
Wonnhaldestraße 4
D-79100 FREIBURG IM BRISGAU (ALLEMAGNE)
(Juan.Fernandez@forst.bwl.de)
(Peter.Hartmann@forst.bwl.de)

(Traduction de l'allemand par www.DeepL.com/Translator, révisée par Christophe Voreux et un collègue.)

RESTAURATION ACTIVE DES SOLS FORESTIERS ENDOMMAGÉS (Résumé)

Depuis les années 1960, le poids des machines forestières a augmenté régulièrement jusqu'à maintenant, ce qui peut entraîner des dommages considérables à la structure du sol lors de la circulation des engins en forêt. En particulier, la circulation hors des conditions optimales entraîne la déformation des sols et la destruction de leur structure. La restauration naturelle des sols prend des années voire des décennies, et il n'y a pas le plus souvent de restauration complète. Afin de favoriser et d'accélérer la restauration des fonctions du sol, différentes plantations sont étudiées en combinaison avec des traitements de la couche superficielle tels qu'un traitement mécanique ou un apport de calcaire. La plantation d'aulnes blancs et glutineux après certains traitements de l'horizon superficiel du sol semble une technique prometteuse.

ACTIVE REMEDIATION OF DAMAGED FOREST SOILS (Abstract)

Since the 1960's, the weight of forest machinery has consistently increased, sometimes causing considerable damage to the structure of the soil due to movement of machines in the forest. In particular, movement in suboptimal conditions causes deformation of soils and structure destruction. Natural restoration of soils takes years or even decades, and in most cases is not complete. To encourage and accelerate the restoration of soil functions, various stands were studied in association with treatments of the surface layer, such as mechanical treatments or liming. Grey alder and black alder plantation following certain treatments on the surface horizon appears to be a promising technique.