

# Les cloisonnements sylvicoles sur sols à engorgement temporaire : à quel degré de perturbation des sols et des peuplements s'attendre ?

**Les cloisonnements sylvicoles ne sont pas censés être sujets au tassement, leur fonction étant de faciliter le cheminement et le travail des ouvriers forestiers pour les opérations indispensables dans les très jeunes peuplements. Mais ils sont en général entretenus mécaniquement (par broyage) avant chaque intervention. Et si c'est peu de chose sur l'ensemble du cycle sylvicole, ce n'est pas anodin pour les sols à engorgement temporaire comme ici, en forêt de Belfort. La vigilance s'impose.**

Les cloisonnements sylvicoles sont nécessaires à la réalisation des opérations sylvicoles indispensables dans les premiers stades d'un peuplement forestier régulier. Conçus pour faciliter le cheminement et le travail des ouvriers, ils sont dégagés en tant que de besoin par broyage, avec des engins de plus en plus lourds et larges (photo). Le passage des engins sur les sols forestiers modifie profondément l'agencement des particules solides. D'après une méta-analyse récente, cette déformation du sol peut diminuer la biomasse aérienne et souterraine des végétaux, quel que soit le type de sol (Mariotti *et al.*, 2020). Les effets sur la biomasse aérienne sont souvent complexes car l'absence de compétition dans les zones tassées ou en bordure de cloisonnement peut conduire à une aussi bonne voire meilleure croissance en diamètre qu'au cœur de la bande boisée. La croissance en hauteur est diminuée de 20% en moyenne (30 études internationales) mais la surface foliaire n'est pas significativement affectée (7 études internationales). La biomasse souterraine est souvent plus impactée que la biomasse aérienne (Mariotti *et al.*, 2020) et les effets de la circulation des engins sur l'enracinement sont visibles dès les premiers passages (Malo & Messier, 2011), y compris dans les horizons profonds, et durent plusieurs décennies (Wilpert & Schäffer, 2006). La densité de l'enracinement est ainsi un indicateur sensible à la déformation des sols suite au passage des engins et permet de détecter des impacts à long terme sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

Afin d'étudier l'impact du passage des broyeurs sur des sols limoneux à engorgement temporaire et sur l'enracinement des chênes, l'unité territoriale ONF de Belfort a réalisé des comptages racinaires sur des fosses creusées perpendiculairement aux cloisonnements sylvicoles et d'exploitation (encadré et Fig. 1). Puis le service RDI (Recherche, développement, innovation) a réalisé des mesures de résistance à la pénétration et des descriptions de sol sur la fosse présentant le plus de différences entre les deux types de cloisonnements et la bande boisée.



Type d'équipement (tracteur + broyeur) souvent utilisé pour l'entretien des cloisonnements

materielagricoleforestier.net/valtra\_forestier.htm

## Pourquoi compter les racines ?

Olivier Marcet, responsable de l'UT de Belfort, voulait montrer les impacts du passage des engins sur les sols de ses forêts, impacts parfois visibles dès la surface (ornières) mais souvent invisibles. Pour cela, il creuse à la tarière des trous d'une vingtaine de cm de profondeur et y verse un même volume d'eau. Le temps nécessaire pour que le volume d'eau s'infilte dans le sol s'avère beaucoup plus long sur les cloisonnements que dans la bande boisée. Cependant, même après constat manifeste des impacts aux sols, le lien entre ces impacts et la réaction des peuplements restait à mettre en évidence, d'autant que la fermeture assez rapide du couvert au-dessus des cloisonnements peut faire illusion. Des fosses ont alors été creusées à la mini-pelle perpendiculairement aux bandes boisées d'un perchis, afin de visualiser les impacts de la circulation des engins sur l'enracinement des chênes. Si les effets se voyaient en partie à l'œil nu, faire un comptage rigoureux a permis d'objectiver les choses.

## Le site d'étude : des sols sujets à engorgement et sensibles au tassement

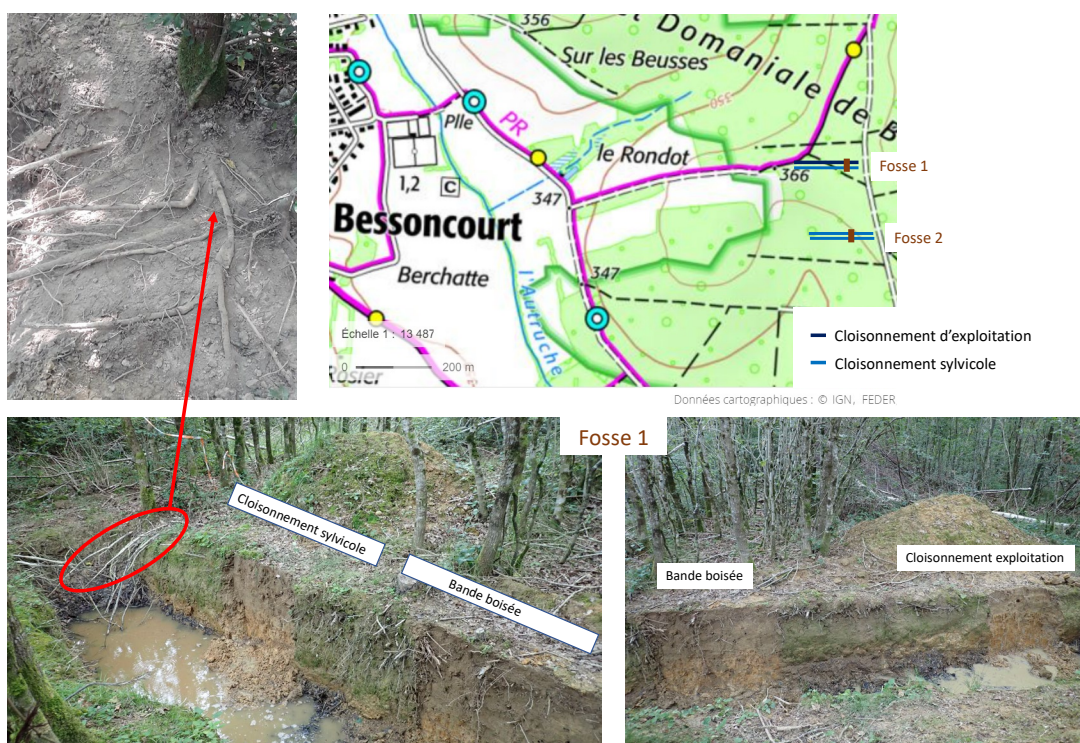
La parcelle étudiée est la parcelle 11 de la forêt domaniale de Belfort, située à 370m d'altitude sans relief marqué. Le peuplement est une chênaie mixte-charmaie d'une trentaine d'années issue de régénération naturelle. La coupe définitive, en 2007, correspond au dernier passage enregistré de porteurs sur les cloisonnements d'exploitation. Les cloisonnements sylvicoles ont été créés en 2001 et entretenus à l'occasion des dégagements de semis (quatre passages de 2001 à 2010), puis du nettoyage en plein réalisé en 2015.

Les sols de la parcelle se sont développés dans des dépôts limoneux, leur texture est équilibrée à dominance limoneuse. La forme d'humus de type mésomull montre que le recyclage des éléments nutritifs par les organismes du sol est rapide et ne limite pas la nutrition du peuplement. La nappe temporaire se manifeste à partir de 45 cm de profondeur par une hydromorphie contraignante. En effet, à partir de 45 cm, la couleur de la matrice ne se voit plus; on n'observe plus que des traces de déplacement du fer sous l'effet de l'asphyxie du sol quand la nappe est présente (traces blanches d'où le fer est parti pendant l'engorgement et traces ocres et noires là où le fer se réoxyde dès que le sol s'assèche). Le plancher de la nappe (horizon imperméable) n'est pas visible dans les 90 premiers centimètres, même si un léger lessivage a occasionné une augmentation de la teneur en argile avec la profondeur. Cette augmentation est très progressive et ne suffit pas à former un plancher qui doit être plus profond que le bas de la fosse.

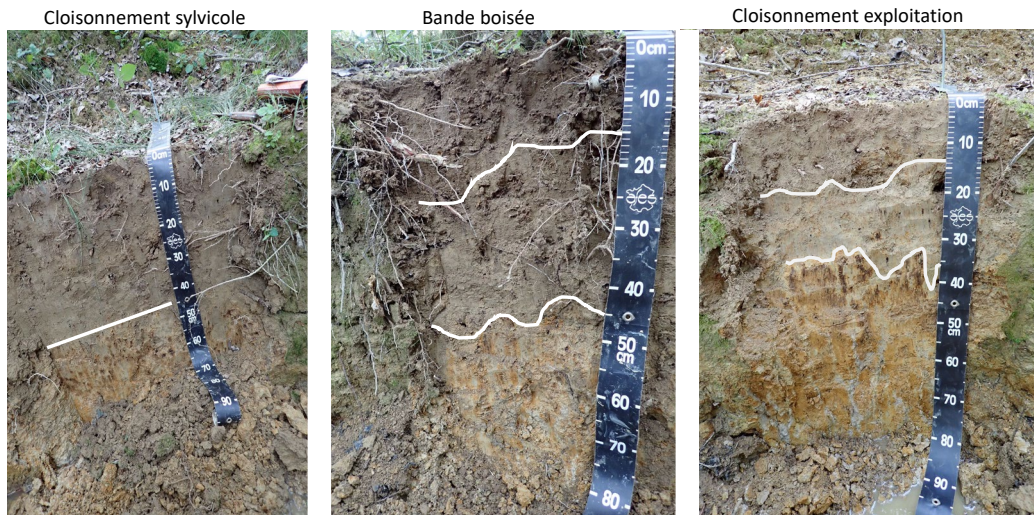
La position topographique de plaine, la texture et la présence d'un frein à l'écoulement de l'eau en bas de profil rendent ces sols particulièrement sensibles à la déformation sous les engins. En effet, le premier facteur de déformation est l'humidité du sol qui, dans le cas étudié, est souvent forte et pendant longtemps (faible capacité à drainer l'eau qui arrive *via* les précipitations). Une texture équilibrée, de par le mélange entre les fractions limoneuse, argileuse et sableuse, représente un fort potentiel de réorganisation lors de la mise sous pression du sol (les particules les plus fines peuvent facilement se glisser entre les particules les plus grossières).

## Diminution de l'aération sous les cloisonnements sylvicoles et d'exploitation

Pour les deux cloisonnements étudiés sur la fosse 1 (Fig. 1), les traces d'engorgement temporaire sont visibles, sous les bandes de roulement, dès la surface, puis à partir de 45cm de profondeur on retrouve la même intensité de traces d'engorgement temporaire que dans la bande boisée avec cependant plus de concrétions ferromanganiques (Fig. 2). Dans la partie supérieure du sol, de 0 à 45cm de profondeur, les traces d'engorgement temporaire sont plus marquées pour le cloisonnement d'exploitation (5% de taches d'hydromorphie entre 0 et 15 cm puis 100% au-delà) que pour le cloisonnement sylvicole (15% de taches entre 0 et 45 cm), tandis qu'il n'y en a pas du tout sous la bande boisée. Ces traces témoignent d'un défaut d'aération, mis en évidence également sur les deux sites de suivi à long terme des effets du tassement, situés dans la région



← **Figure 1.** Deux fosses ont été creusées perpendiculairement aux cloisonnements d'exploitation et sylvicoles pour compter les racines en FD de Belfort. Sur la fosse 1 (photos) ont été réalisées les descriptions de sol (surfaces rafraichies de la paroi; voir Fig. 2) et les mesures de résistance à la pénétration. Des racines déviées, devenant horizontales, y sont visibles au contact entre la bande boisée et le cloisonnement sylvicole (ellipse rouge).



← **Figure 2.** La structure des sols et les traces d'engorgement temporaire montrent un état de compaction et d'asphyxie croissant dans l'ordre bande boisée < cloisonnement sylvicole < cloisonnement d'exploitation. Les lignes blanches permettent de distinguer les différents horizons du sol (zones homogènes).

Grand Est sur des sols similaires à cette étude, grâce au suivi de l'atmosphère du sol en parallèle des traces d'hydromorphie (Goutal *et al.*, 2013; Goutal Pousse *et al.*, 2014). La présence des traces d'engorgement temporaire en surface sous les cloisonnements est liée à la diminution des espaces vides et à la diminution de la capacité d'infiltration de l'eau dans les sols suite au tassement. Ces deux processus augmentent la fréquence et durée de la saturation du sol en eau et de l'asphyxie, la diffusion de l'oxygène dans l'eau étant très faible.

le passage du porteur ait eu des effets latéraux sur l'enracinement plus larges que l'emprise de ses roues (ornières encore visibles). Quoiqu'il en soit, l'enracinement global est nettement diminué par le passage des engins, dans l'ordre bande boisée > cloisonnement sylvicole > cloisonnement d'exploitation (Fig. 4). La catégorie 0 à 3 racines par  $dm^2$  (faible densité) est plus représentée dans les cloisonnements, avec 39% des cellules pour le cloisonnement sylvicole et 67% pour le cloisonnement d'exploitation, que dans la bande boisée (19%).

## L'enracinement diminue quand l'intensité de déformation du sol sous les engins augmente

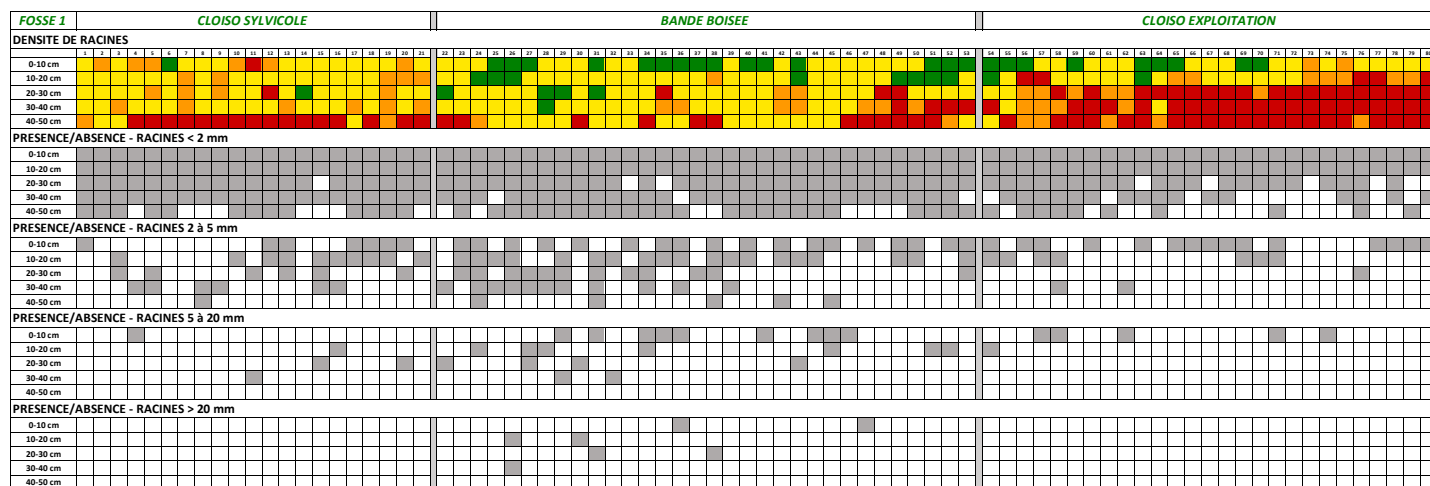
L'enracinement a été étudié à l'aide d'une grille de maille 10cm x 10cm (Fig. 3) jusqu'à 50cm de profondeur sur deux fosses. Au sein de chaque cellule, l'abondance des racines a été notée par classe de grosseur (<2mm, 2 à 5mm, 5 à 20mm et > 20mm) (Fig. 4). La première fosse recoupe un cloisonnement d'exploitation ornieré et un cloisonnement sylvicole non ornieré, la seconde fosse recoupe deux cloisonnements sylvicoles non ornierés (Fig. 1).

Pour la première fosse, le cloisonnement sylvicole fait 2,10m, la bande boisée 3,20m et le cloisonnement d'exploitation 2,70m de large. La faible largeur apparente du cloisonnement d'exploitation vient de son entretien qui, comme pour les cloisonnements sylvicoles, s'est fait en une seule passe avec un tracteur de 2,20m de large en général. Le cloisonnement d'exploitation est en réalité plus large ( $\approx 4m$ ), on le constate *via* la densité racinaire (Fig. 4 fosse1). Cependant, il est difficile à délimiter de manière fiable car il est également possible que

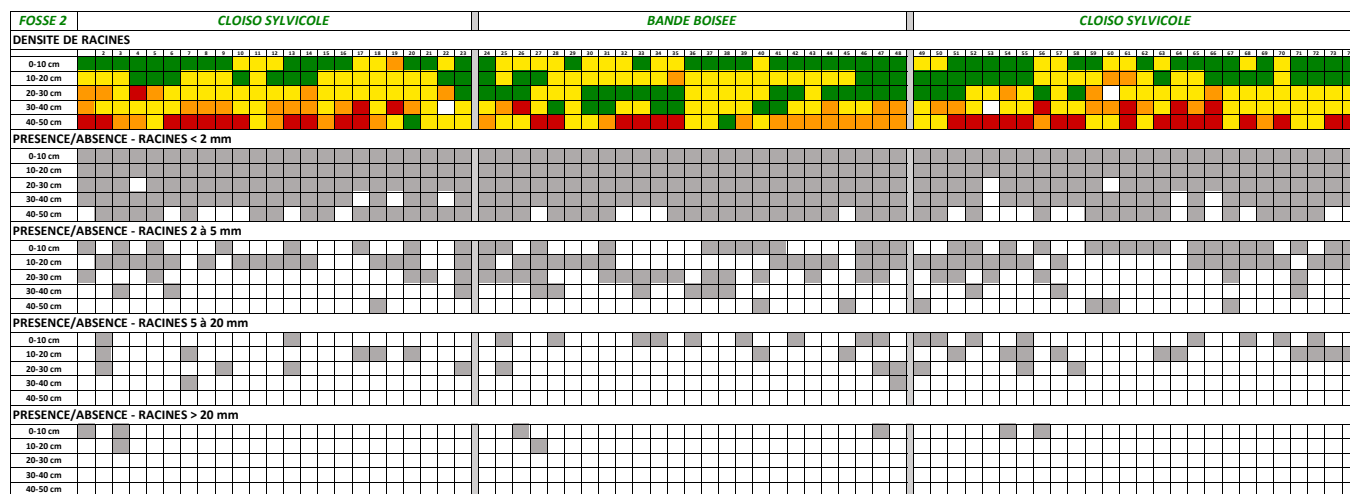


↑ **Figure 3.** La grille de comptage des racines, un équipement simple et efficace mais un comptage fastidieux

## Profil racinaire de la fosse 1



## Profil racinaire de la fosse 2



Densité de racines : ■ 1 ou 2 / dm<sup>2</sup> ■ 2 à 3 / dm<sup>2</sup> ■ 4 à 10 / dm<sup>2</sup> ■ 11 à 50 / dm<sup>2</sup>  
 Présence/absence de racines de la grosseur considérée : ■ Présence □ Absence

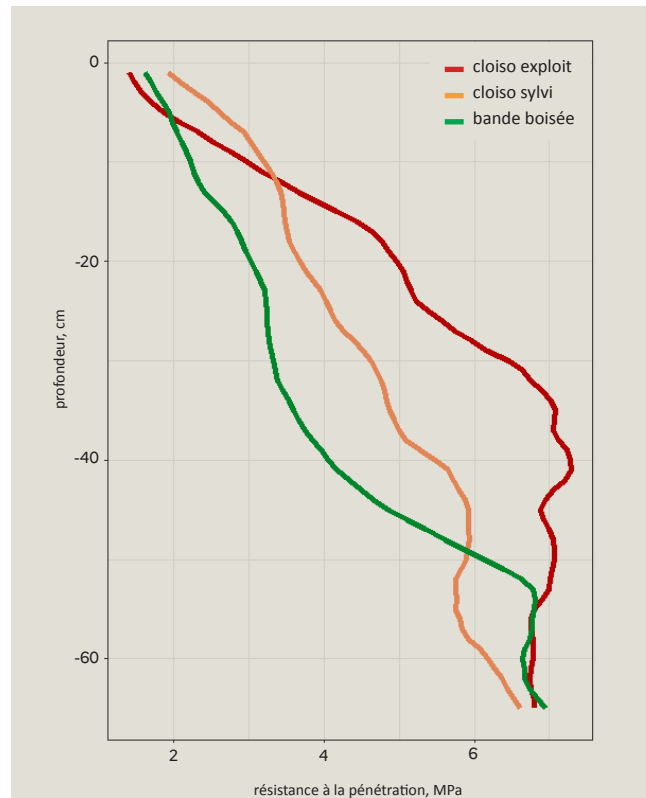
↑ **Figure 4.** La densité globale de racines diminue avec la profondeur et dès qu'on se trouve sous le passage des engins. Les racines de grosseur comprise entre 2 et 20 mm sont les plus affectées par la circulation des engins.

Pour la deuxième fosse, les cloisonnements sylvicoles mesurent 2,30 et 2,60 de large contre 2,50 de large pour la bande boisée; on arrive à 50% de la surface parcellaire affectés par la circulation. L'impact observé de la circulation sur l'enracinement est plus faible que sur la première fosse (Fig. 4). La catégorie 0 à 3 racines par dm<sup>2</sup> est légèrement plus représentée dans les cloisonnements sylvicoles (28%) que dans la bande boisée (18% des cellules).

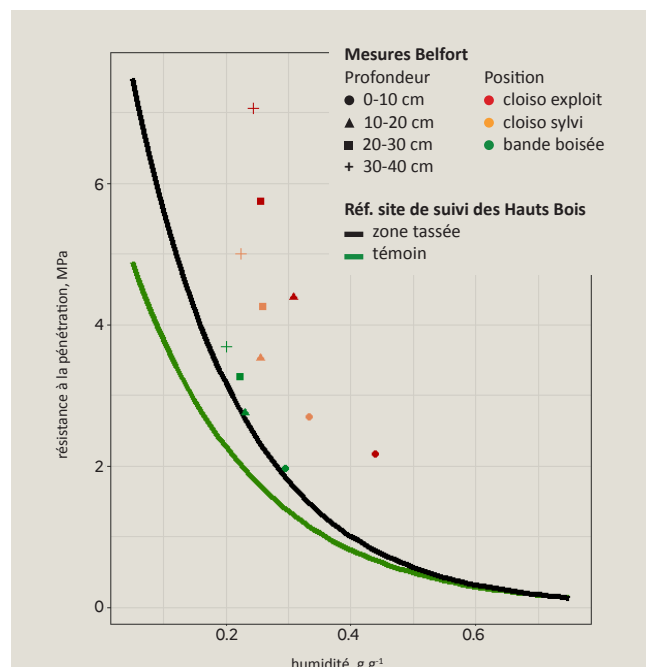
La densité d'enracinement est plus fortement réduite en profondeur qu'en surface (0-10cm) pour les deux fosses et les deux types de cloisonnement (Fig. 4). Par ailleurs, il a été observé une plus forte densité de turricules de vers de terre à la surface des cloisonnements sylvicoles qu'à celle des cloisonnements d'exploitation. Les deux sites expérimentaux de suivi à long terme des effets du tassement montrent que les processus de gel-dégel et d'humectation-dessiccation sont responsables d'un début de restructuration en surface dans les premières années après tassement (durée variable selon le climat). Cette restructuration ne permet pas de rétablir une porosité verticale car la fissuration se fait selon les plans de fragilité du sol qui sont horizontaux après le passage des engins (réaction pour contrer la pression majoritairement verticale exercée par les engins) mais peut permettre un début de recolonisation racinaire et par les organismes du sol (Bottinelli *et al.*, 2014).

## Les impacts sur l'enracinement sont en lien avec la résistance à la pénétration

La résistance à la pénétration permet de mesurer la force que les racines doivent contrer pour arriver à prospecter le sol. Les mesures réalisées sur la première fosse montrent que cette résistance est très fortement augmentée par le passage des engins, avec des valeurs plus élevées pour le cloisonnement d'exploitation que pour le cloisonnement sylvicole (Fig. 5). Dans la couche 0-10cm, cependant, la résistance à la pénétration sous le cloisonnement d'exploitation est d'abord très faible puis elle augmente fortement, ce qui est lié à la différence d'humidité avec la bande boisée. La résistance à la pénétration dépend très fortement de l'humidité du sol au moment de la mesure, avec une plus grande facilité de pénétration quand les sols sont humides. Nous retrouvons les mêmes tendances que celles décrites dans la littérature scientifique : les cloisonnements ont une humidité plus élevée que la bande boisée en surface, et cette différence diminue avec la profondeur (Fig. 6). C'est parce que la circulation des engins réduit la capacité d'infiltration verticale de l'eau (Martin, 2019), qui a ainsi tendance à stagner en surface et n'atteint pas les horizons inférieurs (Goutal *et al.*, 2013); stagnation d'autant plus prononcée que la capacité de diffusion latérale de l'eau est aussi naturellement très faible. Les cloisonnements ayant une humidité de surface (0-10cm) plus élevée que la bande boisée, cela réduit l'écart de résistance à la pénétration entre eux (Fig. 6). Dès qu'ils ont une humidité proche de celle de la bande boisée, la différence de résistance est plus forte. Ainsi, sous les cloisonnements, quand les sols sont humides ils sont asphyxiés et quand ils sont secs ils sont impropres (résistance supérieure à 8 MPa).



↑ Figure 5. La résistance à la pénétration augmente avec la profondeur et l'intensité de la circulation



↑ Figure 6. La résistance à la pénétration diminue de façon exponentielle quand l'humidité augmente. Les valeurs trouvées en FD de Belfort sont proches de celles de la FD des Hauts Bois sur le site de suivi à long terme des effets du tassement, mais la résistance à la pénétration de la bande boisée en FD de Belfort est du niveau de celle la zone tassée du dispositif en FD des Hauts Bois (Pousse *et al.*, 2021)

## Conclusion

Les résultats montrent que les cloisonnements sylvicoles ont un degré de perturbation intermédiaire entre la bande boisée non circulée et le cloisonnement d'exploitation. L'enracinement est fortement réduit dans ces cloisonnements sylvicoles en lien avec un déficit d'aération et une augmentation de la résistance à la pénétration des racines, conséquences bien connues de la circulation des engins sur les sols forestiers. En extrapolant ces impacts, on constate que près de la moitié de la surface forestière est affectée, sans doute durablement d'après les résultats sur d'autres sites expérimentaux. Cet impact est rarement considéré quand on analyse les coûts-bénéfices de la mécanisation terrestre alors qu'il est conséquent quand on regarde la productivité future des peuplements forestiers. Il est également essentiel d'analyser la perte de réservoir en eau occasionnée par l'ensemble des passages d'engins ; un enracinement plus superficiel et une réduction de la recharge en eau des horizons profonds (stagnation de l'eau en surface en plaine, ruissellement en zone de relief) compromettent fortement les chances d'adaptation des peuplements aux changements climatiques, notamment à l'augmentation des sécheresses.

Adapter nos pratiques semble nécessaire ; il est essentiel, à minima, de bien choisir les dates d'entretien (sols secs) et le matériel le plus léger et étroit possible pour réduire les impacts liés au broyage des cloisonnements sylvicoles. Avec la tendance actuelle à travailler tout au long de l'année avec des matériels assez lourds (question de polyvalence), il est peu probable que les 5 passages (en moyenne) sur la durée de la régénération se fassent toujours sur sol sec.

Cette étude fait également ressortir l'importance de reprendre les cloisonnements et pistes existants, d'en tenir compte dans les schémas de plantation et d'espacer les nouveaux cloisonnements de façon à concentrer les impacts sur la surface la plus faible possible.

Noémie Pousse<sup>(1)</sup> Olivier Marcet<sup>(2)</sup>,  
Jorge Blas-Larrosa<sup>(3)</sup>, Stefan Schneider<sup>(3)</sup>

1. ONF, pôle RDI Chambéry
2. ONF, unité territoriale Belfort
3. ONF, agence Nord Franche-Comté - service forêt

Remerciements aux autres compteurs de racines :  
Michel Mouhat, Christophe Bolchert, Thibaud Roy

## RÉFÉRENCES

- Bottinelli, N., Hallaire, V., Goutal, N., Bonnaud, P., Ranger, J., 2014. Impact of heavy traffic on soil macroporosity of two silty forest soils: Initial effect and short-term recovery. *Geoderma* 217–218, 10–17. doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.025
- Goutal, N., Bottinelli, N., Gelhaye, D., Bonnaud, P., Nourrisson, G., Demaison, J., Brêthes, A., Capowiez, Y., Lamy, F., Johannes, A., Boivin, P., Ranger, J., 2013. Le suivi de la restauration du fonctionnement de deux sols forestiers après tassement dans le Nord Est de la France. *Étude Gest. Sols* 20, 163–177.
- Goutal Pousse, N., Bock, J., Ranger, J., 2014. Impacts de la circulation d'un porteur forestier sur deux sols sensibles au tassement et dynamique de restauration naturelle. *RDV Tech.* 43, 33–39.
- Malo, C., Messier, C., 2011. Impact of primary and secondary machinery tracks on fine root growth of sugar maple after selection cutting. *Can. J. For. Res.* 41, 892–897. doi.org/10.1139/x10-245
- Mariotti, B., Hoshika, Y., Cambi, M., Marra, E., Feng, Z., Paoletti, E., Marchi, E., 2020. Vehicle-induced compaction of forest soil affects plant morphological and physiological attributes: A meta-analysis. *For. Ecol. Manag.* 462, 118004. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118004
- Martin, M., 2019. Développement d'un modèle de transfert hydrique des sols forestiers partiellement tassés dans un contexte de données parcimonieuses. Avignon Université, Avignon, France.
- Pousse, N., Bonnaud, P., Legout, A., Darboux, F., Ranger, J., 2021. Forest soil penetration resistance following heavy traffic: A 10-year field study. *Soil Use Manag.* doi.org/10.1111/sum.12730
- Wilpert, K. von, Schäffer, J., 2006. Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *Eur. J. For. Res.* 125, 129–138. doi.org/10.1007/s10342-005-0108-0

