Avantage
Réservé aux membres et partenaires de FERIC Vol. 4 N° 2 Janvier 2003

Contenu

1 Introduction
2 Description du site et du peuplement
2 Opérations de récolte
2 Méthodes d'étude
3 Résultats et discussion
6 Conclusions et mise en application
7 Références
7 Remerciements

Compactage du sol associé à la récolte en été dans un peuplement mixte du centre de l'Alberta

Résumé

L'Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC) a étudié une opération de récolte d'arbres entiers en bordure de route, en été, dans un peuplement mixte à dominance feuillue du centre de l'Alberta. Le rapport décrit le compactage du sol dans le bloc, à la suite des phases d'abattage et de débardage.

Mots clés

Compactage du sol, Récolte forestière, Débardage, Densité apparente du sol, Résistance du sol, Alberta.

Auteur

Brad Sutherland,
Division de l'Ouest

Traduit de l'anglais par
Thérèse Sicard, ing.f.

Introduction

Un compactage du sol peut se produire durant les activités de récolte forestière et éventuellement réduire la productivité de la forêt à long terme. Même une circulation minime des équipements peut avoir des effets nuisibles (Startsev, 1999). Le compactage peut avoir un impact défavorable au niveau du microsite de plantation, du bloc de coupe ou du bassin versant (Startsev et McNabb, 2000), et les sols compactés prendront parfois plusieurs années et même davantage pour se rétablir (Corns, 1988). Le sol ne maintiendra plus l'échange gazeux avec l'atmosphère si le volume de pores remplies d'air qu'il contient est réduit à 10 % ou moins de son volume total; à ce point, la croissance des plantes peut être affectée négativement (Xu et al., 1992). Pour cette raison, des sols modérément bien drainés et imparfaitement drainés, comme ceux de l'Alberta, sont particulièrement susceptibles au compactage parce que le contenu normal d'air de plusieurs de ces sols n'est que légèrement au-dessus de 10 % (Greenway et Startsev, 2000). Sur ces sites, une réduction de l'espace d'air dans le sol à cause du compactage peut diminuer la production de drageons racinaires de tremble et leur croissance subséquente (Greenway, 1999). De plus, les dommages mécaniques causés directement au système racinaire du tremble par la circulation des équipements peuvent réduire encore davantage la densité et la grosseur des drageons.

FERIC a observé une opération de récolte d'arbres entiers en bordure de route, en été, dans un peuplement mixte à dominance feuillue du centre de l'Alberta. Les conditions de site et de peuplement, le système de récolte, ainsi que les productivités et les coûts pour les phases de récolte sont décrits dans Kosicki (2002). Le présent rapport donne les résultats relatifs au compactage du sol dans le bloc par les équipements d'abattage et de débardage.

Description du site et du peuplement

Le bloc d'étude était situé à 60 km au nord d'Athabasca, Alberta, dans le territoire de coupe d'Alberta-Pacific Forest Industries Inc. Le site était considéré convenable pour la récolte en été, sous réserve que la pluie et/ou une preuve d'orniérage entraîneraient immédiatement l'arrêt des activités de débardage (Kosicki, 2002). Les risques de compactage et d'orniérage du sol variaient de moyens à élevés[1] (Beckingham et Archibald, 1996). Les autres caractéristiques du site et du peuplement pour le bloc sont résumées au tableau 1.

Opérations de récolte

Deux abatteuses-groupeuses Timberjack 618, équipées de chenilles de 0,9 m de largeur, travaillaient aller-retour parallèlement à la route de camionnage la plus rapprochée, en commençant à la limite arrière du bloc de coupe. Deux débardeurs à grappin Timberjack 560, un débardeur John Deere 748 G-II, et un débardeur 748E étaient munis de pneus de 77,5 cm de largeur. Sur trois des débardeurs, les pneus étaient soit neufs ou partiellement usés avec des sculptures ayant 5,6 cm de hauteur, alors qu'ils étaient très usés sur une des machines. Les deux débardeurs ayant les pneus les plus usés étaient équipés de chaînes à anneaux. Les groupes de tiges étaient débardés en bordure de route selon un schéma de débardage dispersé. Les débardeurs se déplaçaient en ligne relativement droite jusqu'à la route de camionnage la plus rapprochée, empilant les tiges en rangs presque continus sur les deux côtés de la route. Les tiges étaient ensuite façonnées en bordure de route et transportées à l'usine.

Méthodes d'étude

Durant les opérations d'abattage et de débardage, FERIC a établi des stations ici et là dans le bloc de coupe pour observer la circulation des équipements d'après l'empreinte des chenilles ou des pneus. Les stations sélectionnées pour observer la circulation des débardeurs étaient situées aux endroits où on connaissait le nombre de passages des machines (en charge et à vide) sur la même piste.

---

[1] Le système d'évaluation est basé sur le régime hydrique et le drainage du sol qui lui est relié. Un risque « élevé » signifie que des opérations d'été seraient peu probables. Un risque « moyen » indique que des opérations pourraient être possibles dans les périodes sèches.

Tableau 1. Caractéristiques du site et du peuplement (modifiées d'après Kosicki, 2002)

Superficie totale (ha)	200
Domaine bioclimatique [a]	Forêt boréale mixte (BM)
Sous-domaine bioclimatique [a]	Forêt centrale mixte
Types écologiques [a]	Aw viburnum edule, et Pb-Aw cornus stolonifera
Composition du peuplement (% en volume)	
Feuillus (tremble et peuplier baumier)	92
Résineux (épinette blanche)	8

[a] Beckingham et Archibald, 1996.

Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC)

Visitez notre site! www.feric.ca

Division de l'Est et Siège social
580 boul. St-Jean
Pointe-Claire, QC, H9R 3J9
(514) 694-1140
(514) 694-4351
admin@mtl.feric.ca

Division de l'Ouest
2601 East Mall
Vancouver, BC, V6T 1Z4
(604) 228-1555
(604) 228-0999
admin@vcr.feric.ca

Mise en garde

Avantage est publié uniquement à titre d'information pour les membres et les partenaires de FERIC. Il ne doit pas être interprété comme une approbation par FERIC d'un produit ou d'un service à l'exclusion d'autres qui peuvent être adéquats.

This publication is also available in English.

© Copyright FERIC 2003. Imprimé au Canada sur du papier recyclé.

Par contre, la circulation des abatteuses-groupeuses était dispersée à travers le bloc. Chaque station pour l'observation des abatteuses-groupeuses ne représentait donc qu'un seul passage de la machine.

Approximativement un mois après la récolte, la densité apparente du sol en profondeur a été mesurée à chaque station à l'aide d'une jauge nucléaire d'humidité/densité à sonde unique (figure 1). Les mesures ont été prises à des profondeurs de 10 et de 20 cm pour deux points d'échantillonnage à chaque station, l'un centré sur la piste perturbée et l'autre à un endroit non perturbé à proximité pour servir de témoin. Sur la piste perturbée, le nombre de racines >2,5 cm de diamètre rencontrées dans la couche organique a été enregistré et classé en trois catégories (0-1, 2-3 et >3). L'épaisseur de la couche organique a été consignée à chaque point d'échantillonnage non perturbé.

La densité apparente du sol a aussi été observée à 30 stations en bord de route, chaque station comprenant trois points d'échantillonnage. Le premier point se trouvait sur la trace des roues de camions et représentait la route; le second était situé à 10 m à angle droit de la ligne centrale de la route et représentait la circulation des débardeurs aux empilements de billes; et le troisième était à 35 m à angle droit avec la ligne centrale de la route et représentait l'aire adjacente aux empilements de billes. Aucun témoin non perturbé n'était disponible à ces endroits.

Pour les stations de débardeurs, les données de densité apparente du sol ont été examinées par analyse de variance (ANOVA) et de covariance afin de déterminer s'il existait une relation entre le changement dans la densité apparente et le nombre de passages.

Résultats et discussion

Le tableau 2 résume les densités apparentes moyennes du sol en profondeur, en Mg/m³, enregistrées pour les stations d'abatteuse-groupeuse, de débardeur et en bord de route. Au total, 121 stations, représentant entre un et 44 passages de débardeur, ont été observées à travers le bloc. La taille d'échantillonnage était faible pour les niveaux plus élevés de circulation; par conséquent, les résultats ont été regroupés par nombres de 5-10, 11-20 et >20 passages.

Le schéma de débardage dans ce système de récolte était dispersé; cependant la circulation était souvent canalisée en corridors afin que les débardeurs puissent éviter les grosses souches, les arbres individuels, les bouquets d'arbres et les îlots de végétation en sous-étage (figure 2). Pour les longues distances de débardage, les opérateurs des machines avaient tendance à suivre le même sentier à plusieurs reprises une fois qu'un trajet initial avait été établi. Les densités apparentes naturelles, ou de sol non perturbé, variaient de 1,16 à 1,26 Mg/m³ à la profondeur de 10 cm, et de 1,30 à 1,36 Mg/m³ à la profondeur de 20 cm. Ces valeurs sont similaires aux densités apparentes de sol non perturbé enregistrées dans des loams limoneux lors d'une étude des effets de la circulation des débardeurs sur les propriétés du sol dans le centre-ouest de l'Alberta (McNabb et al., 2001).

Un passage seulement de l'abatteuse-groupeuse n'augmentait pas le compactage

Figure 1. Enregistrement de la densité apparente du sol à l'aide d'une jauge nucléaire d'humidité/densité, à sonde unique.

Figure 2. Débardeur contournant un bouquet d'arbres résiduels.

Tableau 2. Changement de densité apparente moyenne du sol à 10 et à 20 cm de profondeur

Équipement/circulation	Échantillons (nbre)	Densité apparente @ 10 cm			Densité apparente @ 20 cm		
		Piste (Mg/m^3)	Sol non perturbé (Mg/m^3)	Changement (%)	Piste (Mg/m^3)	Sol non perturbé (Mg/m^3)	Changement (%)
Abatteuse-groupeuse							
1 passage	26	1,23	1,23	0	1,33	1,36	-2
Débardeur							
1 passage	14	1,23	1,16	6	1,32	1,31	1
2 passages	37	1,22	1,17	4	1,33	1,32	1
3 passages	10	1,31	1,22	7	1,43	1,35	6
4 passages	8	1,24	1,16	7	1,37	1,30	5
5–10 passages	25	1,26	1,17	8	1,36	1,31	4
11–20 passages	21	1,31	1,24	6	1,40	1,36	3
>20 passages	6	1,36	1,26	8	1,42	1,36	4
Aire d'empilement	30	1,29	1,20 [a]	8	1,38	1,33 [a]	4
Empilement	30	1,28	1,20 [a]	7	1,39	1,33 [a]	5
Route	30	1,66	1,20 [a]	38	1,65	1,33 [a]	24

[a] Densité apparente moyenne combinée pour tous les points de sol non perturbé.

moyen du sol à la profondeur de 20 cm ni même à celle de 10 cm.

Pour la circulation des débardeurs, la densité apparente moyenne du sol était plus élevée sur la piste qu'aux endroits non perturbés, l'augmentation étant plus forte à la profondeur de 10 cm qu'à 20 cm. Cependant, une analyse de variance utilisant un plan expérimental en blocs aléatoires complets n'a démontré aucune tendance évidente entre le changement de densité apparente et le nombre de passages. Une analyse de covariance a donc été appliquée pour déterminer si les variables corrélées de la densité apparente non perturbée initiale, ou de la densité des racines, associées à chaque augmentation du nombre de passages, influençaient la variabilité. Là encore, aucune augmentation significative de densité apparente du sol n'a été constatée avec l'augmentation du nombre de passages, même quand la circulation des débardeurs dépassait dix passages (tableau 2).

L'abattage et le débardage ont eu lieu durant une période prolongée de pluie sous la normale. Même si l'humidité du sol n'a pas été mesurée à ce moment, des échantillons de sol prélevés dans les 30 cm de la surface étaient secs au toucher et s'émiettaient sans former de moule lorsqu'ils étaient pressés.

Les sols à texture moyenne et à texture fine qui ont une faible teneur en humidité ont tendance à avoir une résistance élevée et à s'opposer au compactage, en partie à cause du contact accru entre les particules de sol (McNabb et al., 2001). McNabb et Boersma (1996) affirment que la compressibilité des sols forestiers diminue substantiellement si la teneur en humidité du sol est inférieure à sa capacité de rétention. Dans une étude sur les effets du débardage sur l'infiltration d'eau dans le sol forestier dans le centre-ouest de l'Alberta, Startsev et McNabb (2000) ont rapporté que le débardage avec des pneus de 0,8 à 1,1 m de largeur sur des sols moins humides que la capacité de rétention ne causait pas d'augmentation de densité apparente du sol, et avait des effets négatifs minimes sur l'espace porifère et l'infiltration d'eau superficielle. Dans la même étude, McNabb et al. (2001) concluaient que le degré d'humidité du sol au moment du

débardage, ainsi que le niveau de circulation, sont les facteurs qui dominent le processus de compactage dans les sols à texture moyenne et à texture fine de la forêt boréale. Les résultats de la présente étude viennent confirmer ces relations; si l'humidité du sol avait été plus élevée durant cette étude, les niveaux de compactage des sols en question auraient aussi été plus élevés. Mcnabb et al. (2001) ont constaté des augmentations significatives de densité apparente sur des sols humides après trois cycles de débardeur (c.-à-d. trois passages en charge et trois autres à vide).

Les augmentations de densité apparente rencontrées aux profondeurs de 10 et de 20 cm étaient variables et non proportionnelles au nombre de passages des débardeurs (voir les valeurs de densité apparente sur les pistes de débardeurs au tableau 2). Cette absence d'une tendance claire dans l'augmentation de densité apparente du sol avec un nombre plus élevé de passages, peut être expliquée en partie par la variation considérable de densité apparente se produisant naturellement dans le sol non perturbé. De plus, une fois que le grand espace porifère s'est effondré, le contact entre les particules augmente de sorte que le sol a tendance à devenir plus solide et à mieux résister au compactage dû aux passages subséquents.

Une augmentation de la densité apparente du sol était évidente également aux points d'échantillonnage en bordure de route. Cette augmentation aux sites d'empilement de billes et à proximité des empilements était similaire aux augmentations enregistrées dans le bloc pour trois passages de débardeur ou plus (tableau 2). Comme on pouvait le prévoir, les densités apparentes du sol étaient plus élevées dans les traces de roues sur la route, augmentant de 38 et de 24 % au-dessus des moyennes du bloc pour les points non perturbés aux profondeurs de 10 et de 20 cm, respectivement.

L'épaisseur de la couche organique aux points d'échantillonnage non perturbés variait de 4 à 15 cm, alors que la profondeur moyenne, pour des points regroupés selon le nombre de passages des machines, variait de 8 à 10 cm. Peu d'ornières étaient visibles n'importe où dans le bloc d'étude, et la couche organique sur les pistes des débardeurs demeurait en grande partie intacte même après un nombre élevé de passages (figure 3). La haute capacité portante du sol, résultant des conditions sèches, a aidé à réduire au minimum l'orniérage et le déplacement de la couche organique dus au glissement des pneus. Greenway (1999) affirme que des sols ayant une résistance élevée s'opposeront à la déformation et protégeront les racines de blessures directes causées par les équipements. La présence de racines d'arbres dans la couche organique peut aussi augmenter la résistance de cette couche et par conséquent sa capacité à s'opposer au déplacement dû au glissement des pneus ainsi qu'à l'orniérage. Cependant, des blessures aux racines peu profondes du tremble peuvent se produire à mesure que le nombre de passages augmente. Sur les pistes de débardeurs où le nombre de passages est élevé (>20), un certain labourage de la couche organique et des quelques centimètres supérieurs du sol minéral était évident par suite de l'action d'éraflure par le houppier des trembles débardés (figure 4).

Figure 3. Un an après le débardage, perturbation minime de la couche organique sur une piste de débardeur soumise à 15 passages.

Figure 4. Un an après le débardage, couche organique labourée sur une piste de débardeur soumise à 44 passages.

Des observations du débardeur ont révélé de nombreuses occasions où la charge était assez forte pour soulever, ou presque, les roues avant du débardeur au-dessus du sol. Le déséquilibre de la charge qui s'ensuivait augmentait la pression sur le sol puisque le poids combiné du débardeur et de la charge se trouvait concentré sur l'essieu arrière seulement. Une réduction de la charge répartirait une plus grande proportion du poids total sur l'essieu avant.

Une pleine charge de débardeur consistait le plus souvent en un seul groupe de tiges qui avaient été accumulées par l'abatteuse-groupeuse. Cependant, pour 36 % des cycles de débardeur observés, une pleine charge consistait en deux ou trois groupes plus petits saisis par le grappin durant le trajet jusqu'en bordure de route (Kosicki, 2002). Cette façon de construire la charge utile contribuait à augmenter le nombre de manœuvres requises et par conséquent la durée du cycle, réduisant la productivité du débardeur. Si l'abatteuse-groupeuse pouvait optimiser la grosseur des groupes de tiges de façon que le débardeur puisse prendre en une seule fois une charge pleine mais non excessive, la durée du cycle du débardeur se trouverait alors réduite au minimum et il y aurait diminution de la superficie de terrain soumise à la circulation des débardeurs.

Conclusions et mise en application

L'abattage et le débardage ont été réalisés en été durant une période sèche prolongée dans le centre de l'Alberta. Dans ces conditions, la résistance du sol était élevée, un facteur qui a vraisemblablement contribué aux augmentations relativement faibles de la densité apparente du sol associées à la circulation des machines de récolte forestière. FERIC n'a observé aucune tendance statistiquement significative dans les augmentations de densité apparente en corrélation avec un nombre accru de passages des débardeurs.

Même si le risque de compactage était faible, les blessures directes aux racines peu profondes du tremble par suite du nombre accru de passages, et les effets négatifs qui en résultaient pour la régénération de tremble, pourraient être préoccupants. Il serait possible de réduire les blessures en évitant les charges excessives sur les débardeurs et les nombres élevés de passages. Les résultats d'autres études indiquent que, s'ils étaient humides, ces sols à texture moyenne auraient une résistance beaucoup moins élevée et seraient sujets à un compactage significatif après seulement trois passages de machines.

L'abattage et le débardage durant une période sans pluie – c.-à-d. quand le sol est sec et que sa résistance est élevée – est une des meilleures stratégies pour réduire au minimum les dommages aux sols à risque moyen ou élevé de compactage et d'orniérage. Il existe aussi d'autres stratégies :

- Réduire le plus possible la période entre l'abattage et le débardage. Comme les arbres transpirent de l'eau au sol, l'humidité du sol est probablement plus faible immédiatement après la coupe que quand un certain temps s'est écoulé. Un bref intervalle entre l'abattage et le débardage réduit également la probabilité que la pluie augmente la teneur en humidité du sol.
- Réduire la pression au sol en équipant les machines de pneus ou de chenilles plus larges.
- Limiter la charge des débardeurs pour garder le poids bien réparti entre les essieux avant et arrière.
- Si les sols deviennent humides, reporter l'opération mécanisée jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment secs ou qu'ils soient gelés.
- Optimiser la grosseur des piles durant l'abattage. Le débardeur transportera alors une pleine charge et sera très productif. On évitera ainsi une circulation et des manœuvres supplémentaires pour saisir plusieurs petites piles.

Références

Beckingham, J.D.; Archibald, J.H. 1996. Field guide to ecosites of northern Alberta. Service canadien des forêts, Région du Nord-Ouest, Centre de foresterie du Nord, Edmonton, Alta. Special Report 5.

Corns, I.G.W. 1998. Compaction by forestry equipment and effects on coniferous seedling growth on four soils in the Alberta foothills. Canadian Journal of Forest Research 18:75-84.

Greenway, K.J. 1999. « Harvest equipment impacts on aspen regeneration: direct and indirect effects », pp. 33-42 *dans* Impacts of Machine Traffic on Soil Regeneration: Proceedings of FERIC's Machine Traffic/Soil Interaction Workshop, Edmonton, Alta. B. McMorland et S. Corradini (compilateurs). FERIC, Vancouver, C.-B. Special Report SR-133. 118 p.

Greenway, K.J.; Startsev, A.D. 2000. Soil compaction and aspen regeneration: a synopsis of the available information. Rapport interne non publié. 10 p.

Kosicki, K. 2002. Productivity and cost of summer harvesting in a central Alberta mixedwood stand. FERIC, Vancouver, C.-B. Advantage Report Vol. 3, No. 6. 12 p.

McNabb, D.H.; Boersma, L. 1996. Nonlinear model for compressibility of partly saturated soils. Soil Science Society of America Journal 60:333-341.

McNabb, D.H.; Startsev, A.D.; Nguyen, H. 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. Soil Science Society of America Journal 65:1238-1247.

Startsev, A.D. 1999. Modelling soil compaction, decompaction and tree growth on Alberta soils following forest harvesting, Phase 2. Rapport non publié soumis à Alberta Environmental Protection. Edmonton, Alta. 83 p.

Startsev, A.D; McNabb, D.H. 2000. Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. Canadian Journal of Soil Science 80:617-624.

Xu, X.; Nieber, J.L.; Gupta, S.C. 1992. Compaction effects on the gas diffusion coefficient in soils. Soil Science Society of America Journal 56:1743-1750.

Remerciements

L'auteur désire remercier Skip Frolov et son personnel forestier; Alan Fisher, Dawn Safar et Rod Badcock d'Alberta-Pacific Forest Industries Inc. pour leur collaboration sur le terrain; et plusieurs collègues et compagnons de travail pour leurs suggestions et leur soutien dans la réalisation de l'étude et la préparation du rapport.