



La prévention des dommages au sol

en forêt boréale et acadienne
dans l'est du Canada

Guide pratique pour les opérations forestières

Contenu

- 2 Introduction**
- 3 Importance du sol**
 - 3 Qu'est-ce que le sol et pourquoi faut-il le protéger?
- 5 Sol endommagé**
 - 5 Orniérage
 - 7 Compactage
 - 8 Érosion
 - 10 Perte de nutriments
- 11 Résistance du sol**
 - 11 Texture
 - 12 Teneur en eau
- 20 Comment réduire au minimum les dommages au sol**
 - 20 Utilisation de l'équipement approprié
 - 20 Poids global de la machine et distribution de la charge
- 28 Pneus, chenilles pour roues et chaînes
- 33 Impact du mode d'exploitation sur la perturbation des sols
- 35 Utilisation de techniques d'abattage appropriées
- 38 Utilisation de techniques d'extraction appropriées
- 43 Travail à proximité des milieux humides
- 45 Utilisation de techniques de manutention appropriées en bordure de route
- 45 Établissement du calendrier de récolte
- 46 Stabilisation après coupe
- 47 Préparation de terrain mécanique
- 49 Travail d'équipe**
 - 49 Rôles et responsabilités de l'opérateur de machinerie
- 50 Rôles et responsabilités de l'entrepreneur
- 50 Rôles et responsabilités du superviseur
- 51 Annexe I – Prévention des dommages au sol en terrain fragile lorsque le sol n'est pas gelé**
 - 51 Sols à texture fine
 - 52 Sols organiques (tourbières, fondrières ou marécages)
 - 54 Zones riveraines
 - 55 Pentés fortes
 - 56 Topographie variée
 - 57 Sols minces sur la roche en place
 - 58 Sols grossiers secs et sables éoliens (dunes)
- 59 Remerciements**
- 60 Source des figures**
- 61 Lectures suggérées**

Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC)

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

Ce rapport est publié uniquement à titre d'information à l'intention des membres de FERIC. Il ne doit pas être considéré comme une approbation par FERIC d'un produit ou d'un service à l'exclusion d'autres qui pourraient être adéquats.

This publication is also available in English.

La prévention des dommages au sol en forêt boréale et acadienne dans l'est du Canada

Guide pratique pour les opérations forestières

Réservé aux membres et partenaires de FERIC

Brad Sutherland
Institut canadien de recherches en génie forestier

Septembre 2005
Avantage Vol. 6 N°27

Introduction

Les engins de récolte forestière qui se déplacent dans un bloc de coupe peuvent endommager le sol de diverses façons : compactage, orniérage, érosion et perte de nutriments. On commence à se préoccuper des effets à long terme de la récolte sur la santé des sols forestiers, sur la qualité de l'eau et sur la croissance des arbres quand la perturbation devient suffisamment grave ou importante pour causer des dommages au sol et au site ou donner lieu à des mouvements de sol à l'extérieur du site.

L'objectif du présent guide est de fournir des conseils pratiques aux entrepreneurs forestiers, aux opérateurs de machinerie et aux superviseurs de terrain. Il aborde les risques de dommages aux sols forestiers associés aux opérations de récolte et de préparation de terrain ainsi que la manière de les éviter.

Pour conserver la santé des sols lors de la récolte, il faut savoir quand ils risquent davantage d'être endommagés et comprendre comment le fonctionnement des machines interagit avec le sol. Si les entrepreneurs, les opérateurs et les superviseurs de terrain peuvent prévoir les types et les conditions de sol sensibles à ce genre de dommages, ils seront en mesure de planifier à l'avance et de modifier leur programme de travail et leurs techniques en conséquence.

Les recommandations formulées dans le présent manuel au sujet de l'équipement et des techniques doivent servir de lignes directrices seulement. Les conditions et les règlements locaux, ainsi que la disponibilité des équipements, doivent être pris en considération dans l'interprétation de ces informations.

Importance du sol

Qu'est-ce que le sol et pourquoi faut-il le protéger?

Le sol est une composante essentielle des écosystèmes forestiers. Toute la vie végétale de la forêt dépend du sol pour ses apports en nutriments, en gaz et en humidité et comme support pour les racines. Le sol joue également un rôle essentiel dans l'approvisionnement des lacs et des cours d'eau en eau propre.

Le sol est un mélange complexe de particules minérales et organiques entourées de l'espace lacunaire, qui peut être illustré de façon simple (figure 1). L'espace lacunaire peut représenter la moitié du volume du sol et il est rempli d'eau et d'air. La macroporosité, ou le volume d'espace rempli d'air par rapport au volume de sol, est importante pour les échanges de gaz comme l'oxygène, qui sont essentiels à la croissance des arbres. Le maintien de la macroporosité est capital pour assurer la santé du sol.

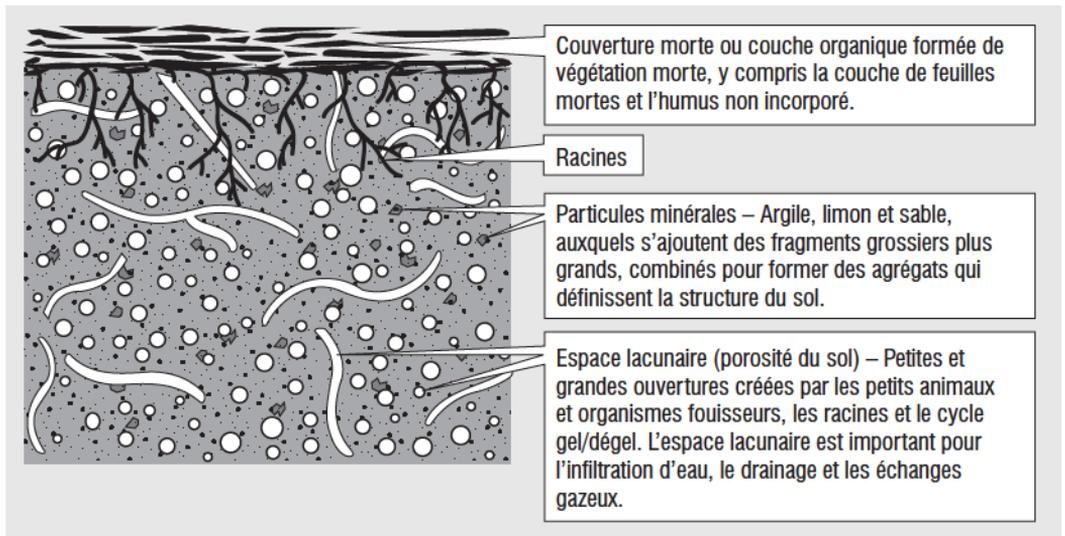


Figure 1. Composantes du sol.

Le processus de formation d'un sol prend du temps et la structure du sol peut être fragile. Une fois qu'un sol est endommagé, cela peut prendre des années avant qu'il se refasse. Un sol endommagé ne peut pas fournir un milieu sain pour les plantes, ce qui occasionne des taux de survie et de croissance réduits. Les espèces envahissantes, comme les graminées, peuvent occuper les sols endommagés et faire concurrence aux arbres. Ces derniers peuvent avoir besoin de dizaines d'années de croissance de plus pour atteindre une taille commerciale, ce qui peut avoir une incidence sur la possibilité annuelle de coupe. Si le sol perd sa stabilité, il peut se produire de l'érosion qui entraînera des sédiments vers les cours d'eau et nuira à la qualité de l'eau.

Les entreprises forestières tirent leur moyen de subsistance de l'aménagement durable des forêts à long terme. En s'efforçant d'éviter d'endommager les sols et les écosystèmes forestiers au cours des opérations de récolte, l'industrie s'assure de sa propre pérennité ainsi que des avantages économiques, environnementaux et sociaux qui y sont associés.

Sol endommagé

Un sol est endommagé lorsqu'il a un impact négatif sur la productivité du site ou la santé de l'écosystème par suite d'orniérage, de compactage, d'érosion ou de perte de nutriments (*voir lecture suggérée 1 à la page 61*). L'étendue des dommages dépend de la gravité des impacts négatifs et de la superficie réelle du bloc de coupe qui est touchée.

Orniérage

De quoi s'agit-il? Les ornières sont des tranchées ou des sillons créés par les pneus ou les chenilles de la machinerie (figure 2). L'orniérage déplace et compacte le sol, endommage sa structure ainsi que les racines des arbres résiduels dans certains cas.

Comment se produit l'orniérage? L'orniérage est causé par le passage des machines. Si la résistance du sol est faible, comme dans le cas des sols saturés (où tout l'espace lacunaire est rempli d'eau), l'orniérage peut se produire après un seul passage de machinerie car la pression exercée sur le sol dépasse sa capacité portante.

Pourquoi est-ce grave? Les figures 3a et b montrent comment l'orniérage déplace le sol et provoque des changements de sa structure, ce qui nuit au développement des racines (3a) et au drainage (3b). Les ornières peuvent mener au compactage des couches de sol plus profondes et une surface couverte d'ornières a un impact visuel négatif dans un paysage naturel. Des ornières dans une dépression humide peuvent indiquer que les sols humides à proximité ont été compactés, même si ce n'est pas visible.

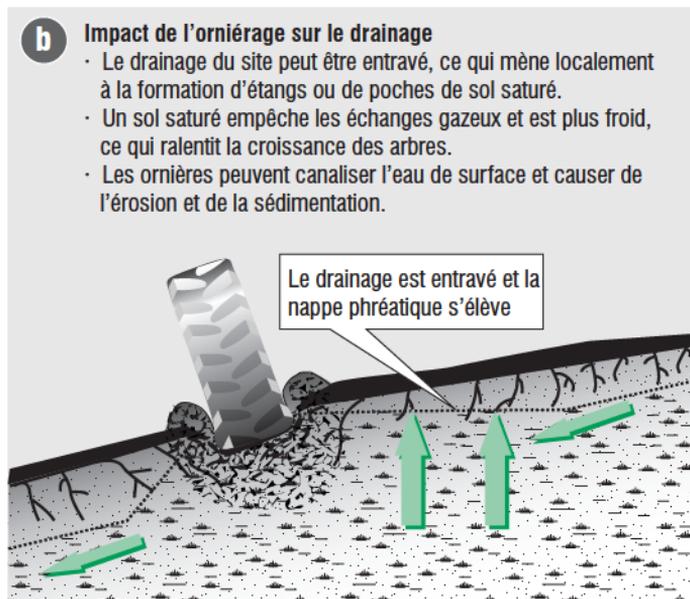
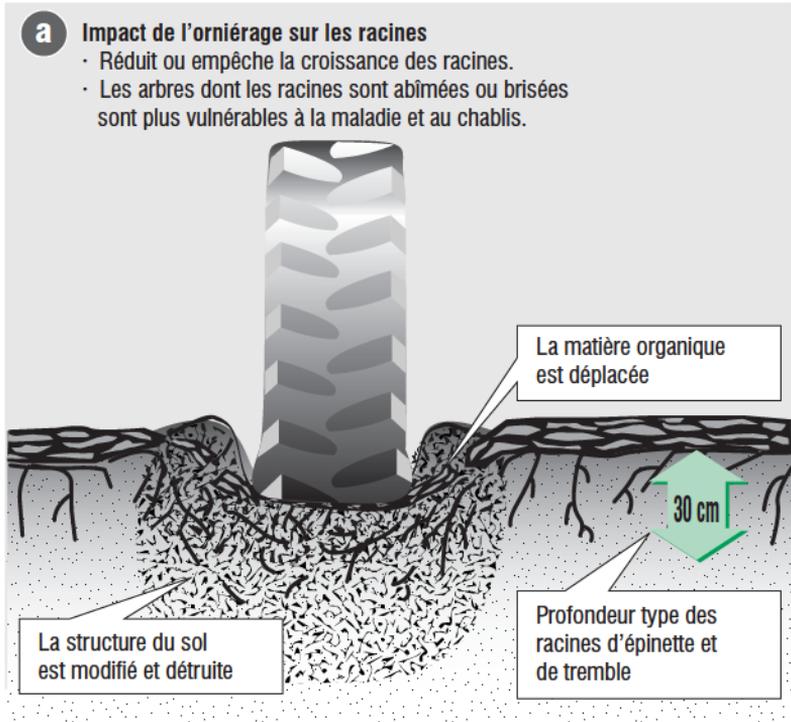
Quels sols sont les plus sujets à l'orniérage? L'orniérage se produit plus facilement dans les sols saturés, de texture moyenne à fine, et dans les sols organiques dont la couche de surface est bien décomposée.



Figure 2. Ornières dans un sol à texture fine.

i **Texture moyenne** – Limon et loam limono-argileux, **Texture fine** – Argile limoneuse et argile lourde, **Sol organique** – Matériel d'origine organique (plantes et animaux) à divers stades de décomposition. Voir la figure 10 pour plus de détails sur la texture du sol.

Figure 3a et b. Effet des ornières sur le sol.

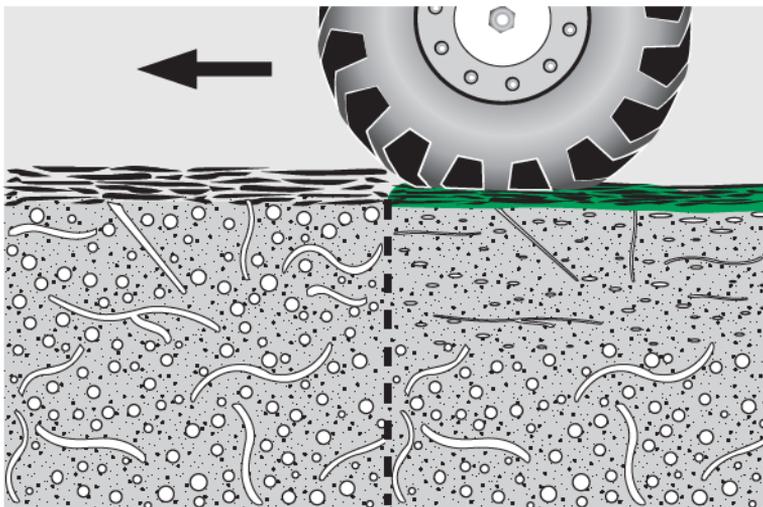


Compactage

De quoi s'agit-il? Le compactage est la compression du sol causée par une charge qui dépasse la capacité de ce dernier à lui résister. Le compactage, contrairement à l'orniérage, n'est généralement pas visible en surface.

Comment se produit le compactage? Le compactage du sol se produit lorsque la compression réduit l'espace lacunaire entre les particules du sol, ce qui en accroît la densité globale.

La figure 4 montre le changement de la structure d'un sol causé par le compactage. Certains sols deviennent compactés après seulement 4 ou 5 passages de machines.



Sol forestier non perturbé

Le sol est poreux, ce qui assure :

- un bon échange d'air et de gaz pour les racines des plantes et les organismes du sol
- une infiltration adéquate d'eau de pluie et un drainage sans obstacle

Sol forestier compacté

Comment le compactage endommage-t-il le sol?

Des grands espaces lacunaires sont perdus, ce qui réduit :

- les échanges gazeux essentiels pour les racines
- l'infiltration et le drainage de l'eau, ce qui peut entraîner la formation d'étangs et l'érosion de la surface
- l'espace pour la croissance des racines des arbres

Figure 4. Effets du compactage sur le sol.

Figure 5. Faible régénération du tremble 10 ans après coupe, causée par le compactage du sol.



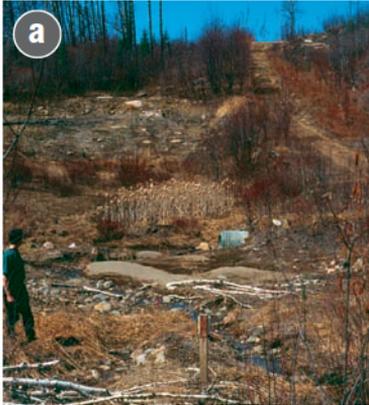
Pourquoi est-ce grave? La figure 4 montre comment le compactage endommage le sol par une perte d'espace lacunaire. Le compactage peut nuire à la croissance à long terme des arbres et même rendre un sol incapable d'assurer la croissance normale d'une forêt. La régénération du tremble est particulièrement sensible au compactage des sols à texture fine. Le compactage peut endommager des sols pour des dizaines d'années (figure 5).

Quels sols sont les plus sujets au compactage? Les sols humides de texture moyenne à fine sont les plus facilement compactés.

Érosion

De quoi s'agit-il? L'érosion est le déplacement en surface des particules de sol causé par l'eau ou le vent à la suite de leur exposition, qui peut avoir été occasionnée par la circulation des machines. Le potentiel d'érosion augmente quand l'écoulement de l'eau est concentré et quand la longueur et le degré de la pente s'accroissent. Il s'élève également à mesure que la superficie de sol exposée et la proportion de limon ou de sable fin dans le sol augmentent.

Comment se produit l'érosion? L'érosion de surface peut se produire quand des sols vulnérables sont exposés à l'eau ou au vent après que la circulation excessive de machinerie, un déblaiement à la lame ou une préparation de terrain mécanique inadéquate ait éliminé ou endommagé la couverture morte protectrice et le système racinaire superficiel. Les sols exposés dans les pentes moyennes à fortes sont plus vulnérables à l'érosion. Les ornières orientées vers le haut ou le bas d'une pente sont particulièrement sensibles, car l'eau de ruissellement y est canalisée.



Pourquoi est-ce grave? L'érosion peut causer des dommages à la structure du sol ainsi que la perte de sol et de matière organique en surface, qui sont importants pour la croissance des arbres et des plantes. Le déplacement des particules de sol dans les cours d'eau peut détruire des habitats de poissons et réduire la qualité de l'eau. (figure 6a et b).

Figure 6a et b. Sol minéral exposé à proximité d'un cours d'eau.

Quels sols sont les plus sujets à l'érosion?

- Les sables très fins et les limons exposés s'érodent facilement, même dans les pentes faibles. Les sols sableux ou limoneux de texture fine à moyenne peuvent former des dunes qui sont sujettes à l'érosion éolienne si elles sont exposées (figure 7).
- Les sols minces (< 30 cm) sur la roche en place, dans des pentes > 20 %.
- Tous les sols mal drainés sur des pentes fortes.



Figure 7. Érosion éolienne de sables fins exposés.

Perte de nutriments

De quoi s'agit-il? Il s'agit de la libération soudaine et de la perte de nutriments sur des sites dont la fertilité est faible à la suite d'une perturbation causée par un feu ou par des activités d'aménagement forestier comme la récolte ou la préparation de terrain mécanique.

Comment se produit la perte de nutriments? Dans les sites où la fertilité est faible, la majorité des nutriments se trouve dans la couverture morte et dans les branches et les feuilles des arbres plutôt que dans le sol. Une perturbation associée à la récolte, à la préparation de terrain mécanique ou à un feu peut occasionner une libération ou une élimination soudaine des nutriments stockés. La faible capacité de stockage de ces sols signifie que beaucoup de ces nutriments peuvent être perdus.

Pourquoi est-ce grave? Une fois que les nutriments sont perdus ou éliminés de ces sites, cela peut être très long avant qu'ils s'accumulent de nouveau. Plus la qualité de station est faible, plus grand est l'impact sur la productivité du site et la croissance des arbres.

Quels sols sont les plus vulnérables?

- Sables à texture grossière (figure 8a et b).
- Sols très minces sur la roche en place (moins de 5 cm de sol minéral et tapis discontinu de matière organique) (figure 9a et b).
- Sols comprenant peu ou pas de matière organique.

Figure 8a et b. Sable grossier profond avec une couche de matière organique mince.



Figure 9a et b. Sol très mince sur la roche en place.



Résistance du sol

La résistance du sol est sa capacité à résister aux changements de structure et de porosité causés par les forces appliquées par les pneus ou les chenilles des machines. Les sols forts sont résistants, mais ils ne sont pas à l'abri des dommages dus à l'orniérage et au compactage. Ce ne sont pas tous les sols qui sont forts.

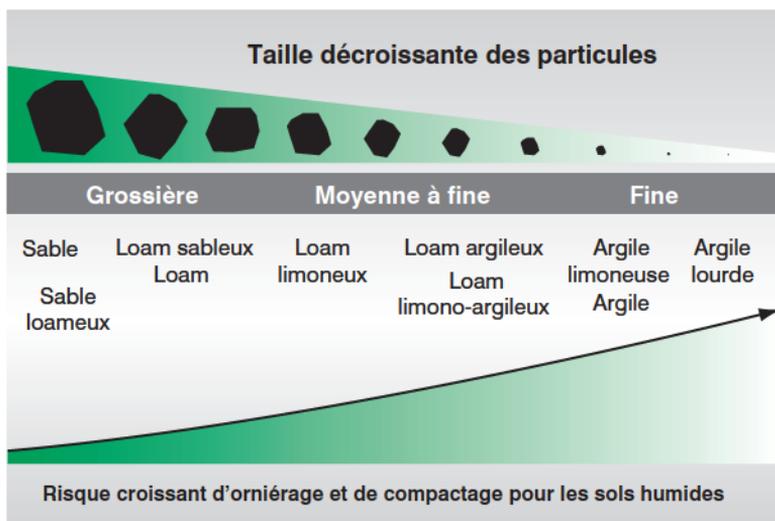
Les sols organiques ont des couches de surface épaisses (> 40 cm) qui peuvent protéger le sol sous-jacent du compactage, mais ils peuvent être sujets à l'orniérage si la matière organique est bien décomposée. Le fait de garder intact le réseau de racines superficielles peut aider à permettre le passage des machines sur des sols organiques ou minéraux. La seule façon de protéger complètement un sol peut être d'attendre qu'il soit gelé. Voir l'annexe I pour une description plus détaillée des sols organiques et des techniques recommandées pour éviter les dommages (*voir lecture suggérée 2 à la page 61*).

Dans le cas des sols minéraux, la résistance du sol dépend de l'importance des contacts entre les particules de sol et la structure du sol; elle est influencée par la texture et la teneur en eau.

Texture

La texture d'un sol dépend de la quantité relative des particules de sable, de limon et d'argile qu'on y retrouve. Mis à part le gravier et les cailloux, le sable est la plus grosse particule de sol et l'argile, la plus petite. Les particules de sol de moins de 2 mm peuvent être classifiées selon leur texture et leur vulnérabilité à l'orniérage et au compactage, comme le montre la figure 10.

Figure 10. Effet de l'humidité du sol sur le risque d'orniérage et de compactage selon la texture du sol.



Les sols à texture fine, soit ceux où l'on trouve les particules les plus fines, sont résistants lorsqu'ils sont secs, mais perdent de la résistance lorsqu'ils sont humides ou mouilleux et peuvent alors être compactés ou produire des ornières lors du passage de la machinerie forestière.

Les sols à texture grossière, comme les sables purs, ont une faible résistance lorsqu'ils sont secs et peuvent être sujets à l'orniérage et au déplacement.

Teneur en eau

La teneur en eau du sol est l'indicateur le plus important de la résistance d'un sol et de sa vulnérabilité à l'orniérage et au compactage. La teneur en eau (humidité) du sol change constamment et dépend de nombreux facteurs comme la porosité, la pluviosité, la vitesse de drainage et la couverture végétale ou forestière.

Les sols à texture plus fine retiennent davantage l'eau et prennent plus de temps à s'égoutter que les sols à texture grossière.

Combien de temps faut-il au sol pour drainer l'eau de pluie? Après une pluie prolongée, il faut environ deux jours aux sols profonds pour se drainer, si le drainage se fait librement. Dans le cas des sols mal drainés, cela peut prendre une semaine ou plus. Si le sol devient saturé, sa résistance diminue considérablement.

i Une teneur en eau élevée est le principal indicateur d'une faible résistance dans le cas des sols minéraux et organiques de texture fine.

Comment la pente, la topographie et les espèces végétales peuvent-elles donner des indications sur le drainage et l'humidité du sol? En général, les crêtes et les hauts de pentes ont tendance à être bien drainés; des milieux de pente aux terrains plats, le drainage va de modéré à imparfait et les terrains plats et les bas de pente sont d'imparfaitement à mal drainés. On peut examiner la topographie ou la forme du paysage, ainsi que la pente, pour prévoir les changements dans l'humidité du sol, comme le montre la figure 11.

Pente moyenne à forte

Les sols humides ou mouilleux sont souvent confinés à d'étroites bandes au pied des collines abruptes.

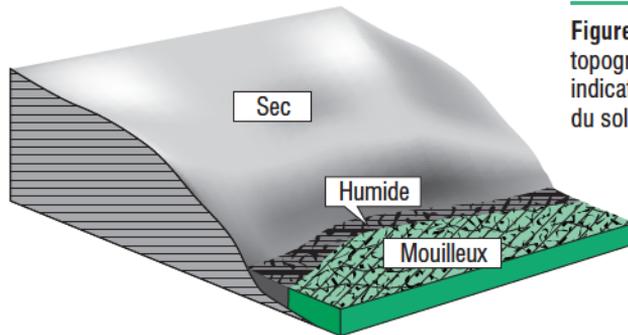
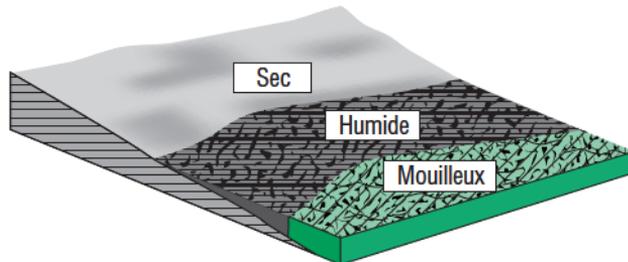


Figure 11. La topographie donne des indications sur l'humidité du sol.

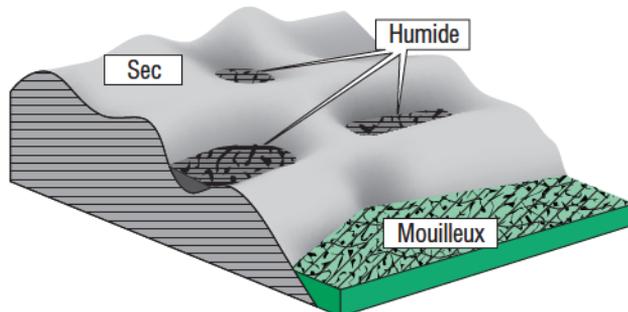
Pente faible

Dans les pentes faibles, les sols humides peuvent occuper des grandes zones et le changement dans la résistance du sol peut être plus graduel.



Pentes vallonnées

Dans les pentes vallonnées ou complexes, les sols humides ou mouilleux peuvent se trouver dans des dépressions.



Certaines espèces végétales peuvent aussi être des indicateurs fiables de la teneur en eau souterraine et du drainage. Par exemple, les pins se retrouvent généralement dans des milieux plus secs. La figure 12 montre des exemples d'espèces d'arbres, de buissons et de mousses qui colonisent généralement les sols humides ou mouilleux.

i

La **transpiration** est le déplacement de l'eau vers l'atmosphère à travers la plante.

Note : Plusieurs de ces plantes ne se limitent pas aux sites humides, mais lorsqu'on les retrouve en abondance, elles sont un bon indicateur de conditions allant d'humides à détrempées.

Comment le couvert végétal/forestier influence-t-il la teneur en eau du sol? Une partie des précipitations est interceptée par la forêt et s'évapore avant d'atteindre le sol. Une partie de l'eau qui atteint le sol est absorbée par les racines des arbres et retourne à l'atmosphère par transpiration (figure 13).

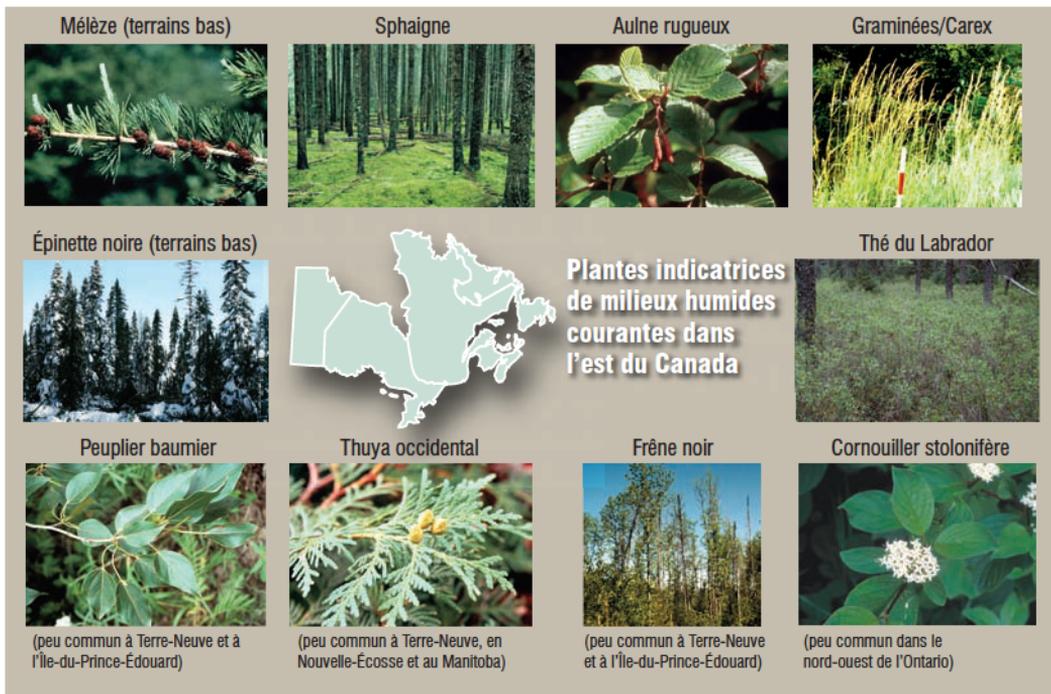


Figure 12. Certaines plantes indicatrices de sols humides.

Quelle est l'incidence de l'élimination du couvert forestier par la coupe sur la teneur en eau? Après la coupe, la nappe phréatique remonte dans les sols normalement humides ou mouilleux, car il n'y a plus d'arbres (ou moins d'arbres) pour intercepter et éliminer l'humidité par transpiration.

Les précipitations qui se produisent entre l'abattage et le débardage vont augmenter rapidement la teneur en eau du sol et occasionner la formation de mares et un ruissellement accru. Cela augmente directement le risque d'orniérage et de compactage.

Quelle est l'incidence de la machinerie forestière sur la teneur en eau du sol? La circulation de la machinerie peut provoquer le compactage et l'orniérage. Ces changements de la structure du sol peuvent modifier le drainage et garder un site plus humide plus longtemps (figure 13).

i La **remontée de la nappe phréatique** est une élévation de l'eau du sol qui se produit souvent après la coupe, en partie en raison de l'arrêt soudain de l'évaporation et de la transpiration de la forêt. La formation de mares, résultant d'un drainage réduit par le compactage et l'orniérage dus au passage des machines, est associée à la récolte. La remontée de la nappe phréatique diminue la résistance du sol dans les sols à texture moyenne à fine.

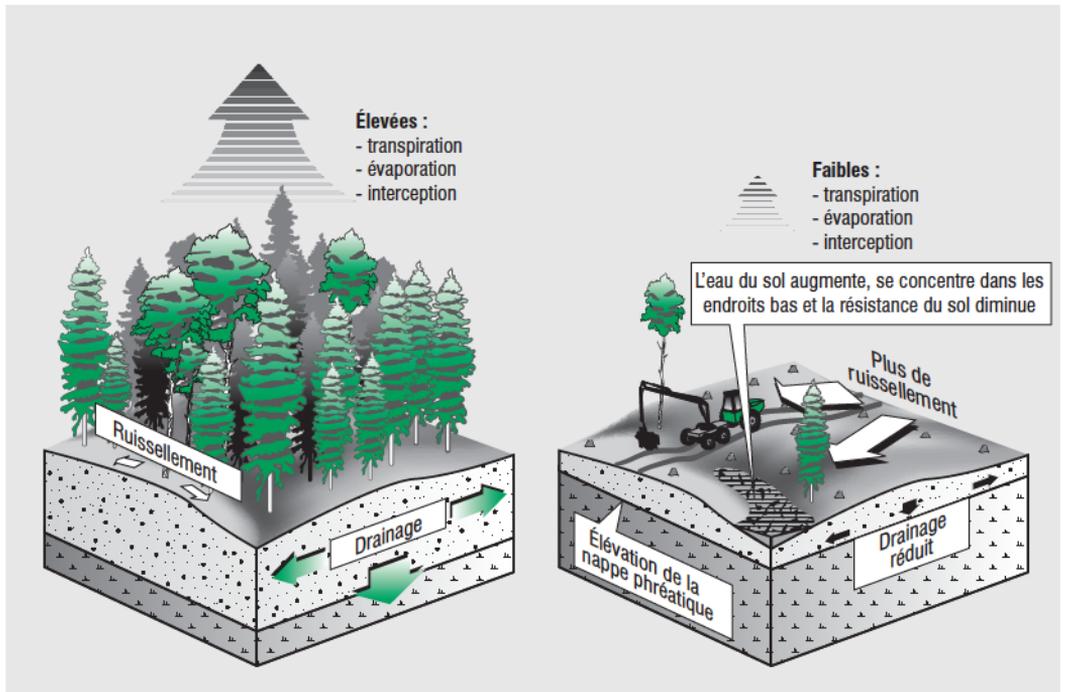


Figure 13. Impact de l'élimination du peuplement forestier et de la récolte sur la teneur en eau du sol.



Quand doit-on s'attendre à une teneur en eau plus élevée au cours de la saison d'exploitation été/automne ?

- ✓ Changement de position le long de la pente – d'un site élevé et bien drainé à un site plus bas et moins bien drainé.
- ✓ Changement dans les espèces d'arbres et de plantes – d'un indicateur de site sec à un indicateur de site humide.
- ✓ Après une forte pluie (plusieurs heures) – juste avant ou pendant les opérations.

Changements saisonniers et leur signification pour la protection des sols

Quand il s'agit de protéger les sols, les conditions les plus favorables pour utiliser la machinerie forestière sont des sols secs en été ou des sols gelés en hiver.

Les conditions du sol changent avec les saisons. La figure 14 illustre comment la teneur en eau du sol, de même que la résistance qui en résulte, fluctuent avec les saisons.

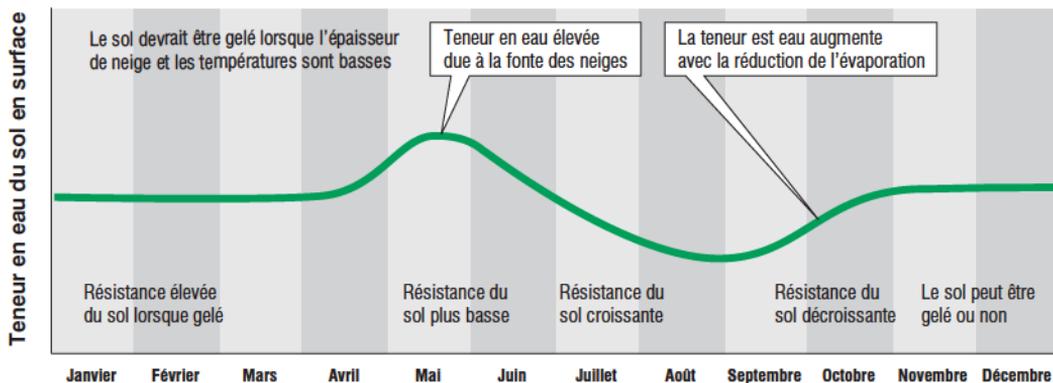


Figure 14. La saison et la teneur en eau d'un sol influencent sa résistance.

Note: Des variations climatiques annuelles peuvent perturber le niveau d'humidité anticipé des sols de surface.



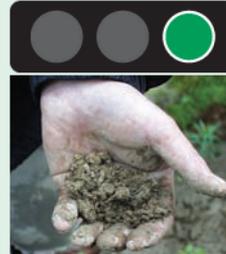
L'humidité dans les sols à texture moyenne à fine peut être vérifiée à l'aide d'un simple test de consistance fait à la main (*voir lecture suggérée 3 à la page 61*).



Sol à résistance faible :
Risque élevé d'orniérage
et/ou de compactage



**Sol à résistance faible
à moyenne :**
Risque de compactage



Sol à résistance élevée :
Faible risque de
compactage

Sols secs, été/automne. La résistance du sol en forêt boréale et acadienne est généralement à son niveau le plus haut du milieu à la fin de l'été, lorsque la teneur en eau du sol est au plus bas, en raison des faibles précipitations et du haut niveau d'évaporation. Au cours de l'année, les périodes de pluie peuvent varier quelque peu selon la région.

Sols gelés, hiver. La récolte effectuée quand les sols sont suffisamment gelés peut réduire les risques de compactage et d'orniérage. Toutefois, le gel du sol n'est jamais garanti. Par exemple, les températures hivernales moyennes plus élevées que connaissent certaines régions des provinces atlantiques peuvent restreindre la possibilité de protection par le gel par rapport aux températures plus froides souvent rencontrées dans la forêt boréale du centre du Canada.

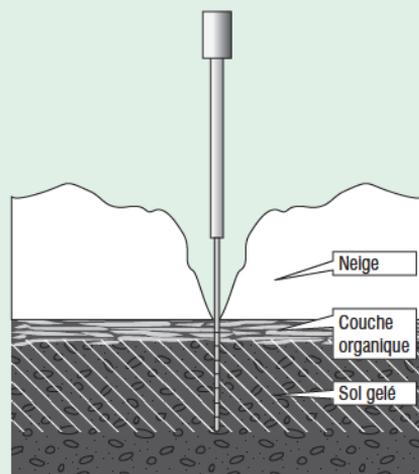
Le type de sol peut nuire à la profondeur du gel. Les sols à texture grossière, s'ils sont humides, vont geler plus tôt et plus profondément que les sols à texture fine. Les sols organiques gèlent plus vite que les sols à texture fine en raison de leur forte teneur en humidité. Un écoulement des eaux souterraines, qu'indique la présence de thuyas ou d'aulnes, peut atténuer le gel du sol.

L'épaisseur de neige influence fortement la pénétration du gel. Une épaisseur de neige non perturbée de 30 cm peut réduire la profondeur du gel de la même valeur. S'il y a une chute de neige importante, même une fois le sol gelé, la chaleur emmagasinée dans le sol aura tendance à faire fondre cette couche gelée (figure 15), qui ne regèlera pas facilement car elle est isolée des températures inférieures au point de congélation par la neige. Dans certaines conditions, la neige peut protéger le sol de l'impact de la machinerie. Une couche de neige humide/compressible de plus de 60 cm ou une couche de neige gelée/croûtée de plus de 40 cm peuvent aider à supporter le poids des machines et offrent une bonne protection. La neige sèche et poudreuse fournit peu de soutien ou de protection.

Profondeur de pénétration du gel. Dans le cas des sols minéraux, la profondeur du gel dans le sol doit être de 7 à 15 cm pour empêcher la formation d'ornières pour la plupart des engins de récolte et de plus de 15 cm pour empêcher le compactage. Pour les sols organiques qui sont moins denses que les sols minéraux, une profondeur de gel plus grande est nécessaire pour supporter la machinerie. Au moins 50 cm de gel est requis pour empêcher l'orniérage si la couche organique est saturée et au moins 70 cm si la teneur en eau est plus faible.



La profondeur du gel peut être vérifiée à l'aide d'une sonde maison qu'on plante dans le sol gelé avec un marteau à inertie jusqu'à ce que la sonde atteigne la couche qui n'est pas gelée (voir lecture suggérée 3 à la page 61).



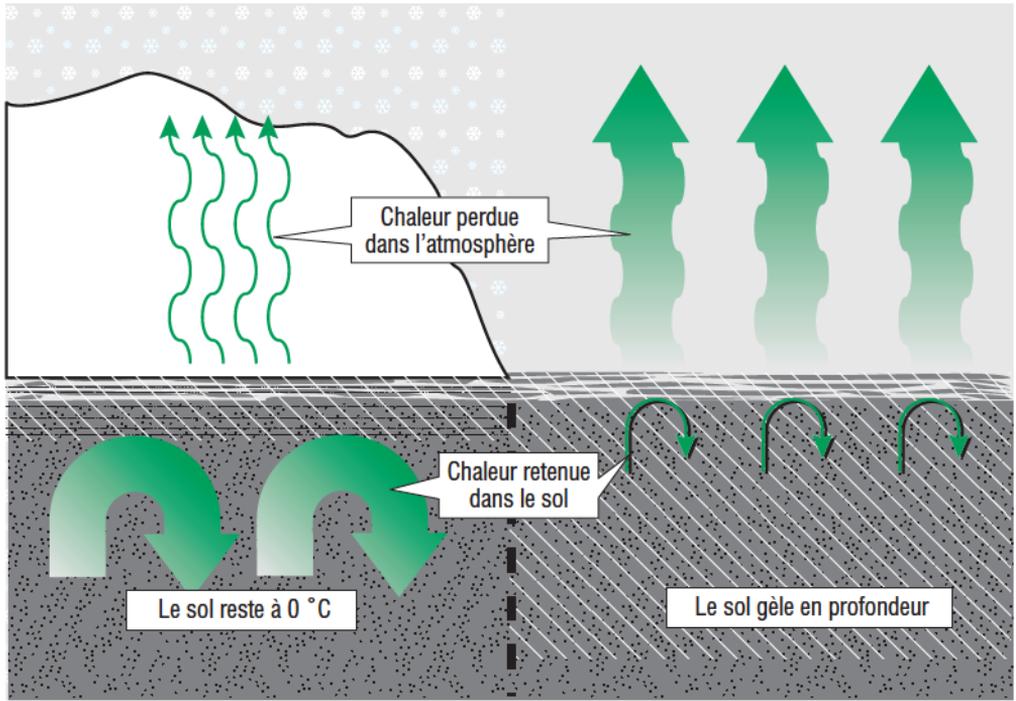


Figure 15. Effet isolant de la neige sur la profondeur du gel.



Quand doit-on s'attendre à des profondeurs de gel insuffisantes pendant les opérations d'hiver?

- Lorsque la profondeur de gel n'est pas suffisante avant une forte chute de neige, la neige peut isoler le sol et l'empêcher de geler, ou s'il est déjà gelé, le faire fondre.
- Si les sols sont secs, le gel peut ne pas se produire.
- Des températures douces peuvent causer le dégel d'un sol déjà gelé.
- Dans les bas de pente ou les sites mouilleux, comme l'indique le changement d'espèces d'arbres et de buissons.

Comment réduire au minimum les dommages au sol

On peut réduire les risques de dommages au sol pendant la récolte en adaptant les opérations aux conditions de terrain et de sol et en choisissant judicieusement la machinerie et les techniques de récolte (*voir lecture suggérée 4 à la page 61*). Voir l'annexe I pour une description des conditions de terrain fragiles qu'on trouve en forêt boréale et acadienne et des techniques recommandées pour éviter les dommages.

Utilisation de l'équipement approprié

La compréhension des caractéristiques des machines qui contribuent aux dommages au sol est une étape importante dans le choix et l'utilisation appropriés des machines. Les caractéristiques suivantes ont une incidence sur les dommages aux sols :

Poids global de la machine et distribution de la charge

En général, il est préférable que le poids de la machine/de la charge soit le plus faible possible, car cela réduit la nécessité de pneus larges ou de chenilles pour diminuer la pression au sol.

Ne surchargez pas les débardeurs à grappin, car cela entraîne un poids excessif sur l'essieu arrière (figure 16).

Figure 16. Débardeur surchargé dont les roues avant ne touchent pas le sol.



- Choisissez un débardeur dont l'empattement est le plus long possible, ce qui assure une meilleure distribution du poids entre les essieux et réduit le déplacement du poids de l'avant vers l'arrière lorsqu'il est chargé. Gardez la charge le plus près possible de l'essieu arrière.
- Dans les cas des porteurs, plus la voie est large et plus la charge est basse, mieux la charge sera équilibrée d'un côté à l'autre pendant les déplacements (figure 17).
- Ne surchargez pas les porteurs, même si les tandems sont équipés de chenilles. La réduction de la pression au sol due aux chenilles sera annulée par le poids additionnel.

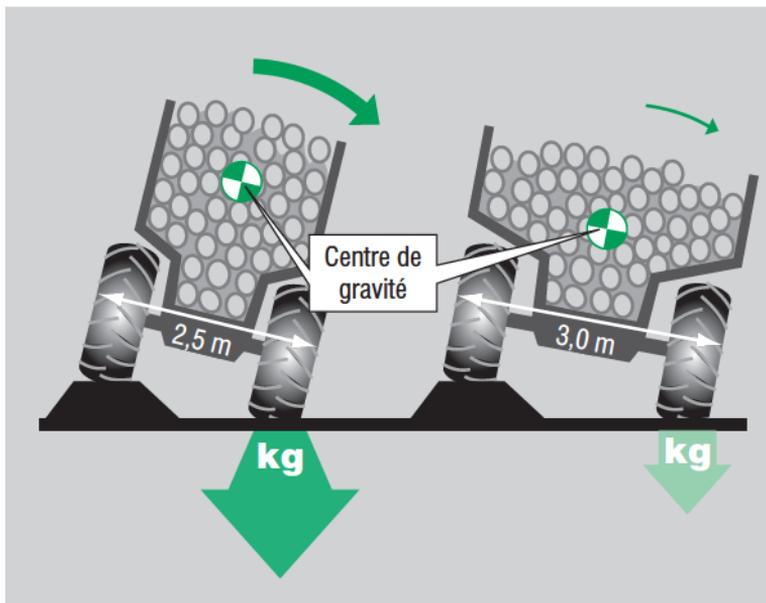


Figure 17. Le porteur de droite a une voie plus large et donc une charge mieux équilibrée car le centre de gravité est plus bas. Ainsi, les charges maximales transférées au sol seront moins fortes lors des déplacements (Makkonen 1989) (voir lecture suggérée 5 à la page 61).



Figure 18. Surface de contact ou empreinte du pneu; plus la surface de contact est grande, plus le poids appliqué sur une surface donnée de sol est faible.

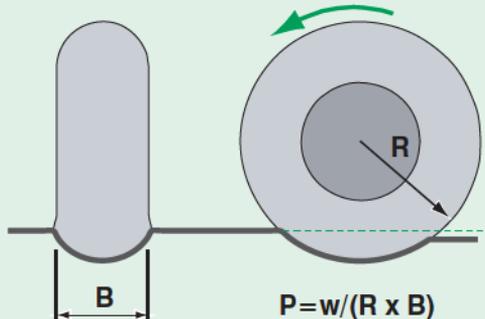
Pression au sol

- Plus grande est la surface de contact entre le pneu ou la chenille et le sol, plus faible est la pression au sol.
- La distribution de la charge sur une plus grande surface, par l'augmentation de la surface de contact ou de l'empreinte, réduit le risque de compactage et d'orniérage (figure 18).
- On peut accroître la surface de l'empreinte en utilisant des pneus plus larges à une pression de gonflement plus faible. On peut également accroître la longueur de l'empreinte sans augmenter la largeur du pneu en utilisant des pneus de plus grand diamètre.
- L'ajout de chenilles aux systèmes d'essieux tandems peut augmenter considérablement la surface de l'empreinte. Dans le cas des roues simples, cet ajout occasionne une faible augmentation de la surface de l'empreinte en terrain mou.



La formule standard suivante aide à calculer la pression au sol pour une dimension de pneu donnée (voir lecture suggérée 6 à la page 61).

P = pression de l'empreinte
 w = poids sur la roue, le tandem ou la chenille
 R = rayon de la roue
 B = largeur du pneu



Patinage des pneus ou des chenilles

- Un certain patinage est nécessaire pour utiliser la résistance du sol pour développer la traction, mais un glissement ou un patinage excessif des roues dans un sol à faible résistance accroît le compactage et l'orniérage, diminue la productivité des machines et augmente la consommation de carburant (figure 19).
- Dans le cas des pneus, le patinage est influencé par le dessin et l'usure de la bande de roulement, par le poids ou la charge sur le pneu et par une distribution inégale de la puissance (couple).
- Pour les machines équipées d'un dispositif de verrouillage du différentiel à commande manuelle autobloquant, désactivez le verrouillage dans les virages en sol mou pour éviter les dommages (ornières).
- L'utilisation d'une transmission hydrostatique et de moteurs hydrauliques indépendants dans les roues, avec un contrôle de patinage automatique, permet de réduire davantage le patinage que dans le cas d'une transmission mécanique ou d'une commande de convertisseur de couple.
- Les crampons de chenilles évitent le patinage, mais des crampons hauts peuvent endommager les racines superficielles. Les patins de chenilles à crampons doubles (hauteur plus faible) offrent une plus grande protection du sol comparativement aux crampons simples, tout en conservant la traction. Sur les sols organiques, les chenilles munies de crampons hauts peuvent réduire le patinage et le bris de la couche organique.

i Le **patinage** est défini par la distance supplémentaire de déplacement d'un point situé à la périphérie d'une roue ou d'une chenille par rapport au déplacement du véhicule lui-même et il est exprimé en pourcentage du déplacement du véhicule.

i Le **verrouillage du différentiel** permet d'avoir de la puissance dans les deux roues, ce qui peut causer des dommages au sol en virage.

i Les **systèmes de transmission hydrostatique** offrent une plage de rapports entièrement variables dans une vaste gamme de vitesses ainsi qu'un système de freinage intégré pour les descentes. Ces caractéristiques sont avantageuses pour réduire la perturbation des sols.

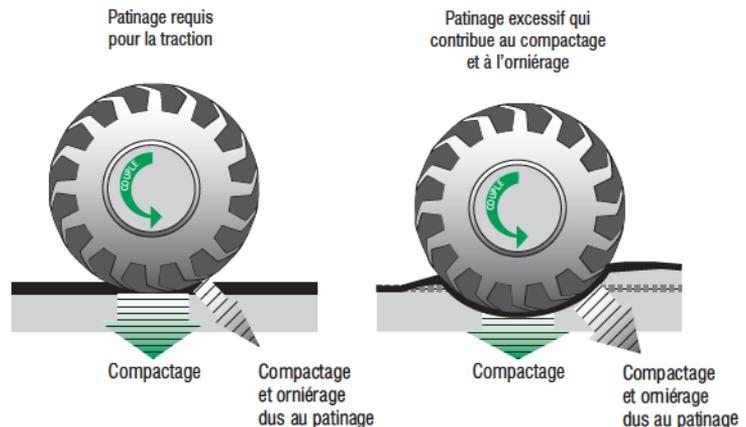


Figure 19. Poids sur la roue et patinage excessif.

Essieu tandem versus essieu simple

- Les systèmes d'essieux tandems permettent d'obtenir une plus grande surface de contact entre les pneus et le sol. L'ajout de chenilles peut encore accroître la surface de contact au sol et diminuer la pression, comme le montre la figure 20.
- Les essieux tandems réduisent l'élévation verticale de la machine de la moitié de la hauteur de l'obstacle rencontré (figure 21) ce qui peut atténuer l'effet de choc sur le sol et sur la machine.
- Pour les machines équipées d'un essieu simple à l'avant et d'un essieu tandem à l'arrière, il est important d'utiliser les dimensions de pneus spécifiées par le fabricant pour conserver le rapport de diamètre entre les roues avant et arrière, à défaut de quoi les vitesses des roues pourraient être différentes, ce qui pourrait causer la formation d'ornières.

Figure 20. Impact de l'ajout de chenilles à des essieux tandems sur la surface de contact et la pression au sol d'un porteur chargé.

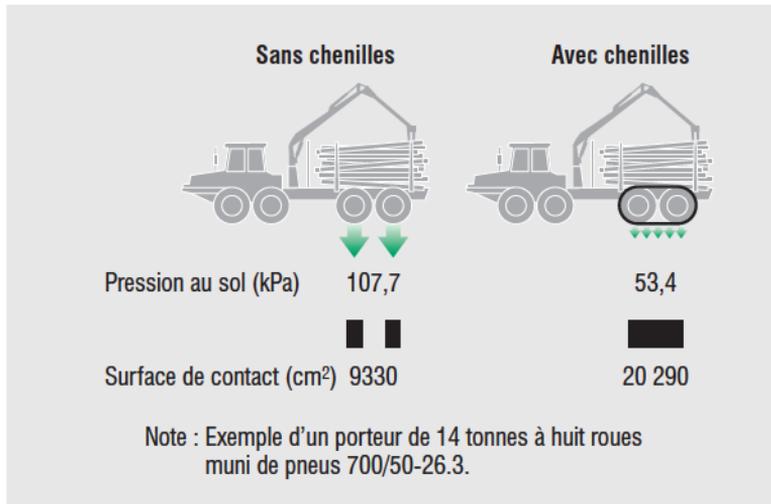
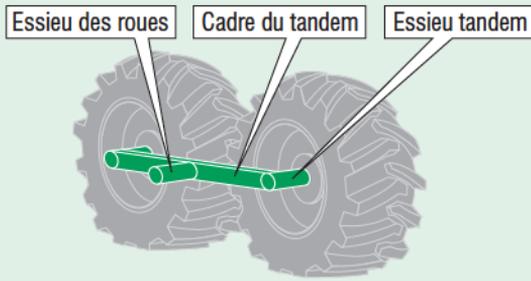


Figure 21. Comparaison du mouvement d'un essieu simple et d'un essieu tandem (Makkonen 1989⁵).





Dans un *système d'essieux tandems*, deux pneus sont commandés par un essieu. On peut ajouter des chenilles pour réduire davantage la pression au sol (de 35 à 50 %).



- Sur les sols mous, les essieux tandems, qui permettent des machines plus étroites que les pneus larges à grande portance, peuvent être avantageux pour les opérations d'éclaircie ou de coupe partielle.
- Les essieux tandems sont plus lourds que les essieux simples et dans les virages serrés, les roues glissent de côté et peuvent davantage endommager la couverture morte et les couches superficielles de sol.

Les débardeurs et les porteurs ont des caractéristiques de base qui peuvent avoir un impact différent sur la perturbation des sols, comme le montre la comparaison donnée au tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des machines et leurs effets sur les sols

		M a c h i n e	
Effets sur les sols	Débardeur à grappin		Débardeur à câble
			
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - pression au sol réduite si équipé d'essieux tandems arrière - moins de manœuvres requises aux points de chargement et déchargement si équipé d'un grappin pivotant 	<ul style="list-style-type: none"> - peut réduire la surface de perturbation du sol si le câble est utilisé à partir du sentier principal. Convient particulièrement aux zones fragiles comme les zones riveraines - le déplacement de la machine peut être réduit davantage par l'utilisation d'un treuil à double tambour et d'une télécommande - peut réduire les dommages au sol si la charge est déposée puis tirée par le treuil dans les sites mouilleux 	
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - dans le cas des grappins conventionnels à arche simple ou double, le débardeur doit se rendre jusqu'à chaque charge, ce qui fait plus de déplacements - peut devoir se replacer plusieurs fois pour une charge complète si les groupes de tiges sont petits 	<ul style="list-style-type: none"> - les petites charges peuvent nécessiter des passages répétés dans le même sentier - sont maintenant moins utilisés que les débardeurs à grappin, qui sont plus efficaces et plus sécuritaires pour les opérateurs

Débardeur à pince portante



- grande capacité de charge qui exige moins de passages que les débardeurs conventionnels
- peut utiliser des chenilles extra-larges qui donneront une grande surface d'empreinte
- la pince pivotante et la flèche articulée réduisent le nombre de virages et de manœuvres nécessaires au chargement
- certains modèles ont une cabine pivotante qui permet le déplacement de la machine dans les deux directions
- ne convient pas aux petites aires confinées ni aux courtes distances de débardage qui demandent beaucoup de déplacements pour réunir un chargement
- les très fortes charges peuvent accroître le compactage
- des chenilles larges peuvent occasionner une proportion plus grande de terrain perturbé
- souvent utilisé pour les longues distances d'extraction, ce qui signifie des passages répétés dans le même sentier

Porteur



- porte la charge au lieu de la tirer, donc le risque de patinage des roues et de perturbation du sol est réduit par rapport aux débardeurs
- se déplace généralement sur un tapis de déchets de coupe laissé par la multifonctionnelle
- des chenilles pour les tandems peuvent réduire la pression au sol
- peut manœuvrer autour des obstacles plus facilement qu'un débardeur chargé
- comparativement au débardeur, le poids plus élevé du porteur chargé peut accroître le compactage
- le système d'essieux tandems peut occasionner du dérapage en virage et donner lieu à plus d'orniérage avec une charge lourde que les machines à quatre roues
- le tapis de déchets de coupe peut être enfoncé dans un sol mou
- souvent utilisé pour les distances d'extraction plus longues, ce qui signifie des passages répétés dans le même sentier

Pneus, chenilles pour roues et chaînes

Des pneus, une pression et des éléments supplémentaires appropriés peuvent faire une grosse différence dans la réduction de la pression au sol et du patinage. Les lignes qui suivent présentent des conseils pour guider le choix des pneus, des chaînes et des chenilles.

Dimension des pneus

L'utilisation de pneus larges (soit > 85 cm) et de grand diamètre réduit l'orniérage et le fait de combiner des pneus plus larges à une pression de gonflement plus faible accroît la portance et réduit le compactage (*voir lecture suggérée 6 à la page 61*) (figure 22a et b).

Figure 22a et b.
Débardeurs équipés de
pneus larges.



- La figure 23 montre l'importance de la dimension des pneus dans l'augmentation de la surface de contact et la réduction de la pression au sol.
- L'utilisation de pneus larges peut donner un faux sentiment de sécurité si les opérateurs décident de se déplacer sur des sols mouilleux à faible résistance qu'ils éviteraient normalement avec des pneus ordinaires. Il peut se produire des dommages dus au compactage sans qu'il y ait d'ornières visibles.
- L'utilisation de pneus larges peut endommager davantage les arbres résiduels ou la régénération préétablie.
- Les pneus étroits, à grand diamètre, permettront une meilleure mobilité dans la neige que les pneus larges.
- Il est préférable que tous les pneus soient de même largeur (par rapport à des pneus larges sur l'essieu arrière seulement) pour permettre une répartition plus égale de l'usure, ce qui réduit le patinage.
- Les configurations à deux pneus peuvent être utilisées comme solution de rechange aux pneus larges dans les sites au sol régulier (figure 24).

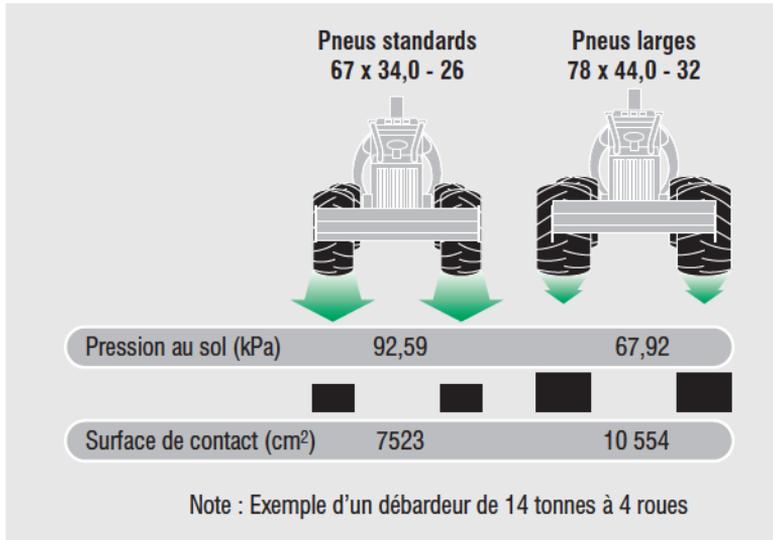


Figure 23. Impact de l'utilisation de pneus plus larges et de plus grand diamètre sur la surface de contact et sur la pression au sol pour un débardeur chargé.



Figure 24. Utilisation de deux pneus pour une portance accrue.

Bandes de roulement et barrettes

- La bande de roulement et la profondeur des barrettes peuvent influencer le patinage. Des barrettes plus profondes ou plus « agressives » peuvent offrir une meilleure traction. Toutefois les barrettes profondes peuvent déchirer le tapis de racines et la couche organique et donner une plus forte résistance au roulement, ce qui fait que la traction globale peut ne pas être améliorée par rapport à des pneus dont les barrettes sont moins prononcées. (figure 25 a et b).
- Des barrettes aux extrémités arrondies vont réduire la perturbation en virage, en particulier pour les pneus des systèmes d'essieux tandems (figure 26).

Figure 25a et b. Barrettes de la bande de roulement et patinage. a) Barrettes non « agressives », plus de risque de patinage, moins de risque de dommages au sol. b) Barrettes « agressives », moins de risque de patinage, plus de risque de dommages au sol et aux racines.



Figure 26. Des extrémités de barrettes arrondies réduisent la perturbation.



Chaînes

- Pour réduire le patinage excessif, tous les pneus devraient être munis de chaînes (figure 27a et b).
- Des saillies sur les chaînes peuvent réduire le patinage, mais aussi blesser les racines en surface.



Figure 27a et b. Pneus munis de chaînes pour réduire le patinage. a) en losanges et b) en anneaux.

Chenilles pour roues

- Les chenilles réduisent le patinage et augmentent la portance, mais peuvent également limiter la vitesse de déplacement maximale des machines sur roues (figure 28a et b). Les chenilles doivent rester serrées afin que le contact avec la surface du sol soit complet. Assurez-vous de garder une pression adéquate dans les pneus dans les cas des tandems.
- Il faut éviter d'utiliser des crampons agressifs sur les chenilles pour empêcher les blessures aux racines des arbres résiduels.
- Des chenilles de conception spéciale sont disponibles pour les opérations sur des sols à faible résistance. Il s'agit de chenilles très larges où l'espace entre les patins est moins grand (figure 29a et b).
- Les chenilles munies de patins à extrémités arrondies ne coupent pas la couverture morte autant que celles dont les extrémités sont coupantes (figure 30).

Figure 28a et b.
L'utilisation de chenilles réduit le patinage et augmente la portance.
a) Chenilles tandems et
b) Chenille simple.



Figure 29a et b.
Chenilles conçues pour les sols à faible résistance.



Figure 30. Les chenilles munies de plaques larges et arrondies (la flèche indique la plaque) font moins de dommages aux couches de sol superficielles.



Impact du mode d'exploitation sur la perturbation des sols (voir lecture suggérée 7 à la page 61)

Le mode d'exploitation utilisé a une incidence sur l'étendue et la gravité de la perturbation des sols. Dans les forêts boréales et acadiennes de l'est du Canada, la récolte se fait principalement selon l'un des modes suivants :

La récolte *mécanisée par arbres entiers*, effectuée à l'aide d'abatteuses-groupeuses, de débardeurs à grappin ou à pince portante et de façonneuses en bordure de route (figure 31).



Figure 31. Système mécanisé par arbres entiers montrant une abatteuse-groupeuse, un débardeur à grappin et une ébrancheuse à flèche.

OU

Le système *par bois tronçonnés*, où l'abattage et le façonnage sont faits à la souche et les billes transportées en bordure de route (figure 32a et b).



Figure 32a et b. Système par bois tronçonnés montrant une abatteuse-façonneuse (a) et un porteur (b).

Les avantages de chacun de ces systèmes, pour ce qui est d'éviter la perturbation de sols, sont les suivants :

- Les systèmes *par arbres entiers* peuvent avoir recours au débardage en mode dispersé dans des conditions appropriées, ce qui évite les multiples passages au même endroit et réduit la possibilité d'orniérage.
- Dans le cas des opérations intégrées (c.-à-d. où l'ébranchage en bordure de route se fait en même temps que le débardage), la machine qui revient vers le bloc de coupe peut ramener des débris ligneux qui serviront de tapis de protection dans les zones fragiles.
- Les systèmes *par bois tronçonnés* utilisent un nombre limité de sentiers de débardage, ce qui réduit la superficie des dommages au sol dans un bloc ainsi que la superficie occupée par les sentiers.
 - Les dommages se limitent aux sentiers très utilisés qui peuvent être protégés à l'aide de débris ligneux et qui sont plus faciles à délimiter pour la réhabilitation, au besoin.
 - Les piles de bois en bordure de route occupent moins d'espace lorsque le façonnage est effectué à la souche et les porteurs se déchargent à partir de la route ou de la ligne du fossé, ce qui limite davantage les pertes et les dommages aux terrains productifs en bordure de route.
 - Les porteurs sont généralement des machines à 6 ou 8 roues, qui présentent une plus grande surface d'empreinte globale et une plus faible pression au sol que les débardeurs à grappin types à 4 roues.

i

Les **systèmes par bois tronçonnés** ont généralement l'avantage, par rapport aux systèmes par arbres entiers, de réduire la perturbation des sols, en raison de la disponibilité de débris ligneux sur place pour la protection des sentiers et de la surface réduite occupée par les sentiers d'extraction dans le bloc.



Pour aider à réduire les dommages au sol pendant le débardage, portez attention aux points suivants :

- Orientez les groupes de tiges dans la direction de déplacement du débardeur;
- planifiez l'emplacement des sentiers de manière à assurer un mouvement fluide du bois tout en évitant les milieux humides;
- protégez les sols fragiles avec des débris ligneux;
- avisez les autres travailleurs de l'emplacement des milieux humides imprévus.

Utilisation de techniques d'abattage appropriées

Les opérateurs d'engins d'abattage doivent prendre en compte la façon dont leurs décisions influencent les étapes d'extraction. La liste qui suit fournit certains conseils pour aider les opérateurs d'abatteuses à réduire au minimum la perturbation des sols et les dommages.

Planifiez pour l'extraction

- Choisissez un mode d'abattage qui tient compte du terrain et favorise le déplacement du bois sur les sols à plus forte résistance.
- Dans le cas de l'exploitation par arbres entiers, faites des groupes d'une taille optimale pour le débardeur et orientez-les dans la direction du sentier de débarquement de façon à réduire au minimum les manœuvres requises pour placer le débardeur en position de chargement.
- Utilisez les branches et les cimes comme tapis pour la protection des sentiers à forte circulation, notamment dans les endroits où la circulation des débardeurs converge, à la jonction des sentiers latéraux et du sentier principal, où il y a plus de manœuvres à faire, et

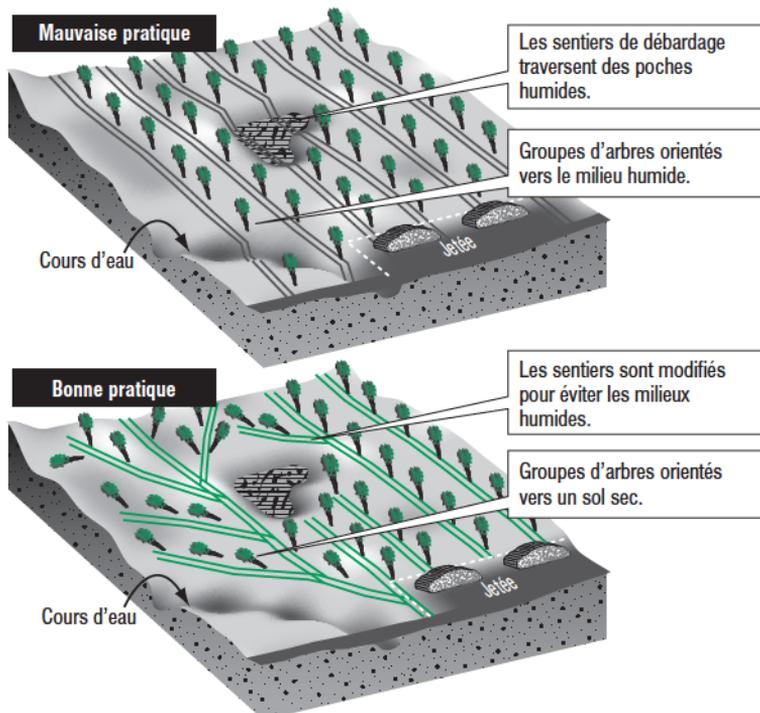
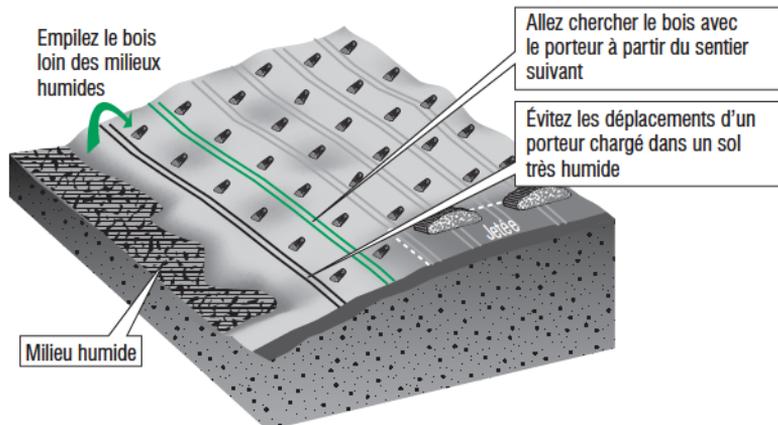


Figure 33. Orientez les groupes d'arbres et situez les empilements en bordure de route de manière à ce que le débarquement se fasse en s'éloignant des milieux humides.

à proximité des jetées. Les sentiers latéraux doivent croiser le sentier principal à un angle de 45 degrés pour réduire les dommages au sol et aux arbres résiduels dus aux virages serrés.

- Voyez à atteindre les arbres des zones humides avec la tête d'abatage et à empiler les arbres sur un sol sec pour le débardage. Orientez les groupes de tiges parallèlement aux zones humides ou (en vous en éloignant) afin d'éviter les déplacements dans ces milieux pendant le débardage (figure 33). Placez les zones d'empilement en bordure de route sur le sol le plus sec.
- Lorsque la résistance du sol diminue, réduisez le nombre de tiges pour les débardeurs ainsi que le chargement des porteurs afin de diminuer la pression au sol des machines jusqu'à ce que les conditions s'améliorent.
- Pour la coupe par bois tronçonnés, préparez des tapis de branches continus devant l'abatteuse multifonctionnelle pour protéger les sentiers de débardage.
- Empilez le bois loin des milieux humides pour permettre l'accès au porteur sur un sol plus sec à partir du sentier suivant (figure 34).
- En hiver, si le sol n'est pas gelé à une profondeur suffisante, le fait de compacter la neige avec une abatteuse-groupeuse avant le débardage du bois, par exemple, ou d'enlever une partie de la neige sur les sentiers principaux et les jetées avant l'utilisation peut réduire l'effet isolant de la neige et permettre au gel de pénétrer. Il faut laisser un temps suffisant à une température inférieure à zéro (au moins toute une nuit) pour que le sol gèle suffisamment avant d'utiliser le sentier (figures 35 et 36).

Figure 34. Empilez le bois coupé loin des milieux humides et chargez-le sur un porteur à partir du sentier suivant.



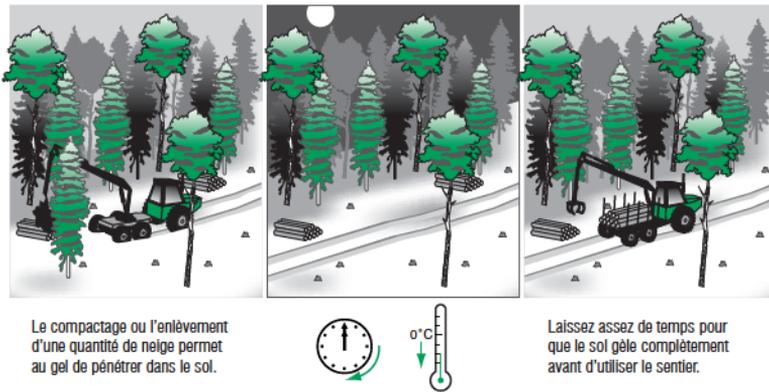


Figure 35. Faites le débardage dans des sentiers gelés.



Figure 36. Compactage de la neige le long d'une route pour favoriser la pénétration du gel.

Prévoyez d'autres options en cas de changement des conditions d'exploitation

- S'il pleut pendant la coupe dans des zones mal drainées, déplacez les opérations dans un secteur mieux drainé jusqu'à ce que les conditions du sol redeviennent acceptables. La transpiration des arbres résiduels accélérera le temps de séchage.
- Regardez aux alentours lorsque vous travaillez. Ne vous avancez pas dans les zones où il y a des mares d'eau ou encore là où la végétation indique un sol mouilleux. Regardez d'où vous venez : s'il y a de l'eau dans vos traces ou si vous défoncez le tapis de racines, déplacez-vous vers des terrains plus élevés.
- Avisez les superviseurs et les opérateurs de débardeurs et de porteurs des zones détrempées à faible résistance rencontrées de façon inattendue pendant la coupe. Si le sol peut être endommagé par l'abatteuse, le débardage causera vraisemblablement des dommages supplémentaires et les zones fragiles doivent être évitées ou protégées par un pontage ou des tapis de branches.

Utilisation de techniques d'extraction appropriées

Les lignes qui suivent donnent quelques conseils pour aider les opérateurs de débardeurs et de porteurs à réduire au minimum la perturbation des sols et les dommages.

Types de sentiers :

Il existe deux types de disposition pour les sentiers :

1. Sentiers dispersés – la machine prend un chemin différent à chaque passage.
2. Sentiers désignés – la machine est confinée à des routes ou à des sentiers prédéterminés.

Le débardage dans des sentiers dispersés peut causer des dommages considérables sous forme de compactage dans les sols susceptibles ainsi que des dommages à la régénération préétablie. Le débardage dans les sentiers désignés concentre la perturbation du sol mais limite les dommages à une faible superficie.

Utilisez le débardage dans des sentiers dispersés :

- seulement si la protection de la régénération préétablie ou des arbres matures n'est pas nécessaire.
- sur les sols bien drainés à texture grossière qui sont résistants aux dommages ou les sols à texture fine quand ils sont secs.
- sur les sols organiques, à l'aide de machines équipées de pneus larges pour éviter de défoncer la couche de matière organique.

Utilisez des sentiers de débardage désignés :

- sur les sols à faible résistance protégés par des tapis de branches ou des pontages.
- pour limiter la perturbation à une petite surface du bloc de coupe.
- lorsque la protection de la régénération préétablie et des arbres matures est aussi une priorité.

Adaptez les techniques aux conditions de terrain

- L'humidité du sol peut augmenter rapidement après une coupe à blanc. Ainsi, le débardage devrait avoir lieu très tôt après la coupe – idéalement dans les deux ou trois jours qui suivent – pour réduire au minimum le compactage et l'orniérage.
- Transportez une charge optimale pour limiter le nombre de cycles dans un bloc. Par exemple, lorsque la résistance du sol commence à se détériorer en raison de la pluie, mais qu'il est toujours possible de travailler, réduisez les charges jusqu'à ce que les conditions s'améliorent. (figure 37).
- Lorsque c'est possible, disposez les routes et les jetées de façon que le débardage se face en descendant, sur des pentes douces, plutôt

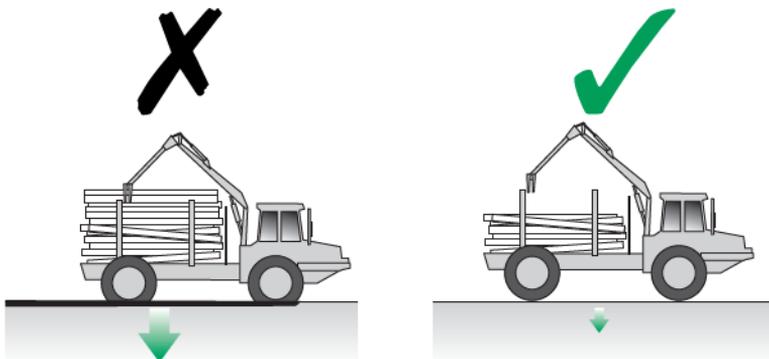


Figure 37. Réduisez la taille de la charge lorsque la résistance du sol diminue.

qu'en montant. Le risque de compactage et d'orniérage est réduit lors d'un débardage se fait vers le bas d'une pente parce les roues vont moins patiner (figure 38).

- Évitez le débardage dans les pentes latérales. Les roues peuvent y patiner facilement et endommager ou briser les racines ou déplacer la couverture morte protectrice, exposant le sol minéral à l'érosion (figure 39).
- En hiver, passez d'abord un débardeur dans les zones de circulation intense pour favoriser la pénétration du gel et la protection contre la circulation accrue (figure 40).

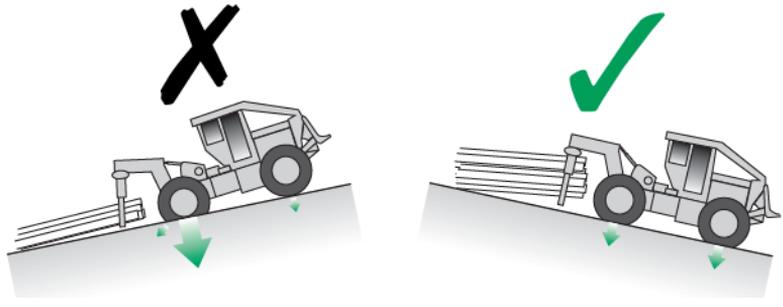


Figure 38. Un déplacement en charge vers le bas d'une pente réduit les risques de compactage et d'orniérage.

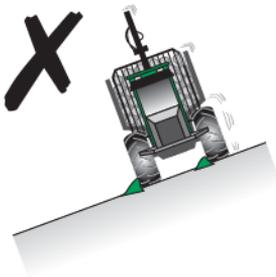


Figure 39. Évitez le débardage dans les pentes latérales.

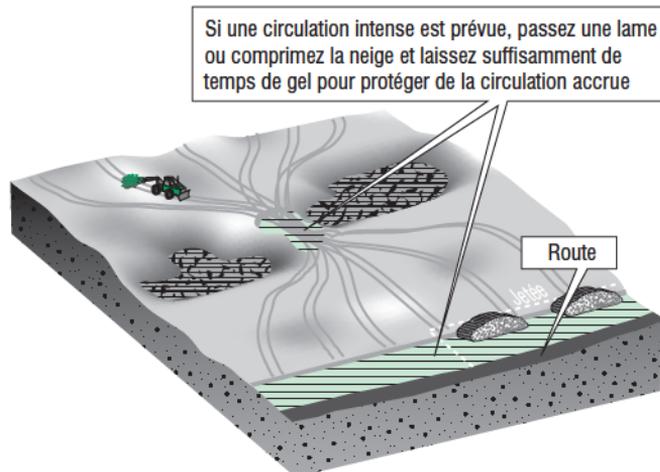


Figure 40. Pendant l'hiver, passez d'abord un débardeur dans les zones de circulation intense pour favoriser la pénétration du gel avant de commencer à circuler.

Nombre de passages et mode de circulation

- Si vous utilisez le débardage par sentiers dispersés sur des sols profonds résistants aux dommages ou sur des sols organiques, pour ne pas les défoncer, évitez de canaliser la circulation vers un même point (figure 41). La majeure partie du compactage se produit après 4 ou 5 passages de machine, ou moins si l'humidité du sol est près de la saturation. Si la concentration de la circulation est inévitable en raison de la topographie ou de la nécessité d'un façonnage central, situez les sites de façonnage de façon à concentrer la circulation sur le sol le plus résistant.
- La profondeur des ornières dépend du nombre de passages sur le même sentier et de la résistance du sol. Sur les sols saturés à texture fine, des ornières peuvent se produire après un seul passage. Le maintien de la couverture morte et l'utilisation de tapis de branches dans les sentiers de débardage, comme c'est la pratique dans le système d'exploitation par bois tronçonnés, peuvent protéger les sols de l'orniérage. Dans les systèmes par arbres entiers, on peut ramener les branches dans le parterre de coupe lors d'opérations intégrées de débardage et d'ébranchage.

i Dans les **zones fragiles**, le fait de placer les tapis de branches avant la formation des ornières empêche les dommages au sol et demande moins de matériel que si l'opération se fait dans un sentier déjà endommagé.

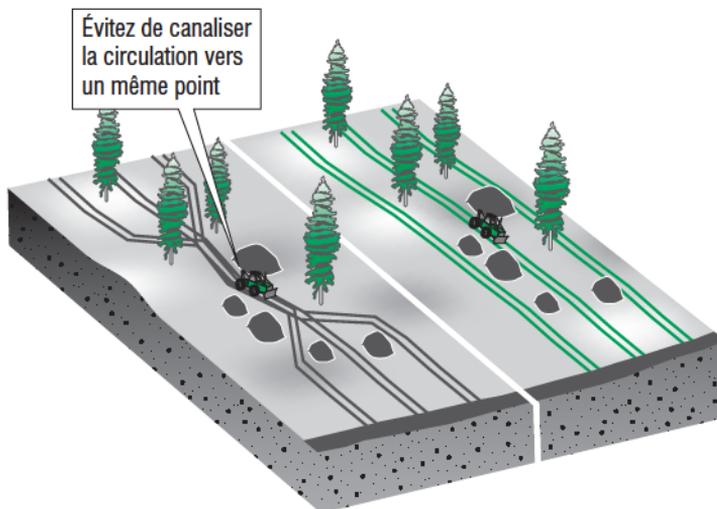
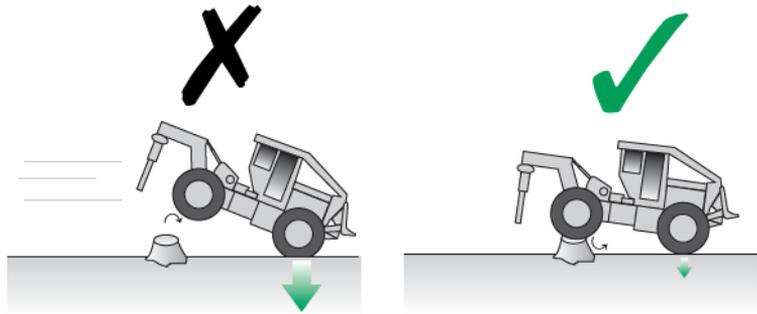


Figure 41. Si vous utilisez le débardage par sentiers dispersés, évitez de canaliser la circulation vers un même point pour contourner les obstacles.

Vitesse de déplacement

- Il est recommandé de garder une vitesse de déplacement constante quand c'est possible.
- Évitez les changements de vitesse rapides et déplacez-vous à basse vitesse pour diminuer les rebonds, empêcher le déséquilibre des charges et réduire le déchirement de la couverture morte (figure 42).

Figure 42. Évitez les vitesses élevées pour atténuer le compactage et le déchirement de la couverture morte.



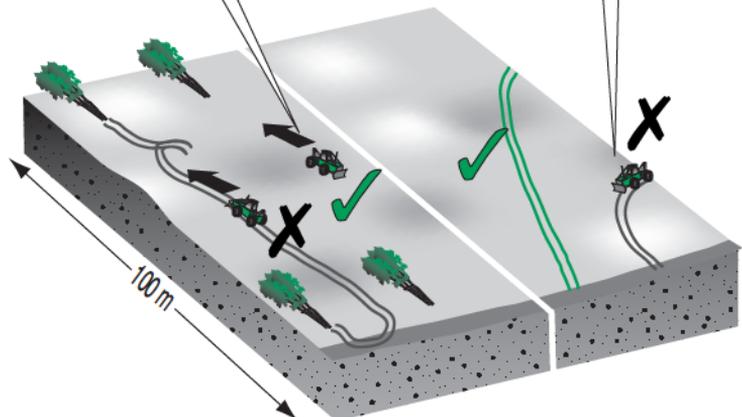
Virages

- Lorsque c'est possible, faites tourner les débardeurs et les porteurs sur des sols à forte résistance ou sur la route plutôt que dans le bloc de coupe ou la jetée (figure 43).
- Dans le cas des porteurs, déplacez-vous à vide en marche arrière pour éviter les dommages au sol dus aux virages dans le bloc.

Figure 43. Réduisez au minimum les virages dans le bloc.

Pour les distances de débarbage inférieures à 100 m, déplacez-vous en marche arrière plutôt que de virer pour aller chercher les charges

Évitez les virages serrés à proximité de la jetée



Travail à proximité des milieux humides

- Dans la mesure du possible, évitez de faire des opérations dans les milieux humides ou de les traverser.
- Planifiez à l'avance la traversée des chenaux de drainage et des milieux humides. L'emplacement des traversées doit être basé sur les conditions de sol les plus favorables plutôt que sur la distance d'extraction minimale. Pour le débardage, orientez les groupes de tiges à proximité de la traversée de façon à ne pas avoir à les tourner.
- Les traversées de cours d'eau doivent être situées sur un terrain de niveau, à angle droit avec le cours d'eau et à un endroit où les berges sont solides. La perturbation du site à proximité du cours d'eau doit être évitée pour réduire le risque d'érosion.
- Pour les traversées de cours d'eau choisies, utilisez les méthodes et structures approuvées pour permettre le passage des machines sans limiter l'écoulement de l'eau et pour éviter de déposer du sol ou des débris dans le cours d'eau (*voir lecture suggérée 8 à la page 61*). Il peut être nécessaire d'utiliser des tapis de branches ou des pontages pour protéger les approches et les berges (figure 44).
- Pour traverser les milieux humides dans le système d'exploitation par arbres entiers, placez des tiges non marchandes dans les traces à mesure que l'abatteuse avance pour former un tapis de protection pour les déplacements du débardeur.
- Dans le système par bois tronçonnés, utilisez des débris d'ébranchage ou des tiges non marchandes comme tapis de protection pour l'abatteuse et dans les sentiers du porteur (figure 45).

i Les **milieux humides** sont définis comme des zones de terrain bas (dépressions, vallées ou ravins) formées de poches de matière organique, de chenaux de drainage, de baissières ou d'eau d'infiltration. Un écoulement saisonnier de l'eau n'est pas rare; les sols sont souvent saturés toute l'année et peuvent ne pas geler suffisamment pendant l'hiver.



Figure 44. Structure temporaire de traversée de cours d'eau avec protection latérale et pontage contre les dommages aux berges et l'entrée de débris dans le cours d'eau.



Figure 45. Protection de sols fragiles à l'aide d'une double épaisseur de tapis de branches dans un sentier de porteur.

- Si le matériel de protection se brise, ajoutez du matériel supplémentaire avant de le défoncer complètement. Si une traversée se détériore et ne peut être réparée, cessez de l'utiliser jusqu'à une saison plus sèche ou contournez entièrement la zone.
- Évitez les virages serrés et le débardage par sentiers dispersés dans les milieux humides (c.-à-d. utilisez des traversées désignées bien planifiées).
- Pour les systèmes par arbres entiers, utilisez des débardeurs munis de pneus à grande portance, de chenilles ou d'essieux tandems équipés de chenilles, ainsi que des flèches de chargement articulées ou des grappins pivotants afin de réduire la perturbation du sol à proximité des milieux humides (figure 46).



Figure 46. Débardeur équipé d'un grappin pivotant et d'essieux tandems arrière avec chenilles.

de chenilles, ainsi que des flèches de chargement articulées ou des grappins pivotants afin de réduire la perturbation du sol à proximité des milieux humides (figure 46).

- Pour les sentiers situés dans les pentes, aménagez des fossés transverses ou des fossés de dérivation à intervalles convenables pour filtrer l'eau de ruissellement dans la végétation aux alentours.

- Pour la traversée des milieux humides, choisissez le terrain le plus favorable pour traverser (c.-à-d. l'endroit le plus étroit) plutôt qu'un endroit dicté par la plus courte distance d'extraction (figure 47).



Évitez de causer des dommages aux milieux humides – Si la traversée est inévitable, choisissez l'endroit le plus étroit et protégez la traversée avec des tapis de branches ou d'autres structures temporaires approuvées.

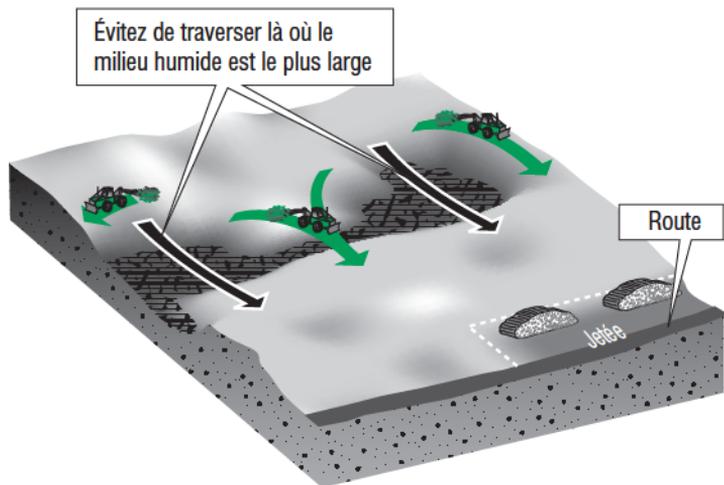


Figure 47. Choisissez la partie la plus étroite du milieu humide pour traverser ou évitez de traverser.

Utilisation de techniques de manutention appropriées en bordure de route

La liste qui suit donne quelques conseils pour réduire au minimum la perturbation des sols et les dommages dus à l'activité des machines en bordure de route :

- Aménagez les jetées ou les aires d'empilage sur un terrain plat ou en pente douce, sur des sols bien drainés, si possible.
- Débardez les tiges jusqu'en bordure de route : façonnez, chargez et empilez le bois à partir de la route, si c'est possible. Faites tourner les débardeurs sur la route.
- Si vous empilez des déchets de coupe à l'aide d'un tracteur à chenilles, évitez de déraciner les souches ou d'arracher la couverture morte, ou comme solution de rechange à moindre impact, utilisez une pelle mécanique.
- Évitez les empilements inutiles, par exemple d'utiliser la lame d'un débardeur pour pousser les billes dans un empilement plus haut. L'intégration du débarbage et de l'ébranchage réduit la nécessité d'empiler le bois en bordure de route.

Établissement du calendrier de récolte

Le choix du moment convenant aux différentes étapes du processus de récolte peut réduire le risque de perturbation des sols.

- Travaillez lorsque les conditions météorologiques sont favorables. Si possible, prévoyez les travaux d'entretien et les congés lorsque la pluie empêche la réalisation des opérations.
- Vous pouvez aussi trouver des sites plus secs à proximité, dont la résistance est plus grande. Les opérations peuvent y être dirigées quand la pluie oblige l'arrêt des travaux sur les sols à faible résistance.
- Lorsque les conditions sont sèches, choisissez d'abord les sols plus fragiles à texture fine ou les zones humides qui sèchent périodiquement.
- Au printemps, lorsque la fonte des neiges peut être accélérée par l'élimination du couvert forestier, rapprochez les opérations d'abattage et de débarbage dans le temps pour éviter que les conditions se détériorent.
- Lorsqu'il y a de nombreux milieux humides dans un bloc, songez à y faire la récolte en hiver.
- Prévoyez les opérations de récolte de façon à ce que les zones difficiles et peu connues se fassent le jour et réservez les zones plus faciles et mieux définies pour les quarts de nuit.

Stabilisation après coupe

À la fin des activités de récolte, prenez les mesures nécessaires pour réhabiliter ou stabiliser les zones où le sol est exposé ou perturbé :



L'étendue des travaux de remise en état des sentiers doit être établie compte tenu de la nécessité d'un accès futur pour des opérations sylvicoles.

- Remettez en état les sentiers aménagés dans les pentes à l'aide de fossés transverses ou de fossés de dérivation à intervalles convenables pour filtrer l'eau de ruissellement dans la végétation aux alentours.
- Nivelez les ornières dans les pentes pour empêcher la canalisation de l'eau; stabilisez le sol minéral exposé à l'aide de méthodes approuvées pour la région, comme l'épandage de débris ligneux, de paille ou de mélanges de semences pour la lutte contre l'érosion.
- La matière organique de surface empilée plus tôt peut être étendue dans les zones à circulation intense comme les jetées.
- À la fin des activités de débardage, enlevez les matériaux des traversées de cours d'eau. Retirez les structures et stabilisez les approches et les berges contre l'érosion à l'aide de méthodes approuvées (figure 48).
- Visitez de nouveau les zones récoltées pour vérifier si les structures de drainage fonctionnent bien et si les activités de remise en état ou de stabilisation ont porté fruit.

Figure 48. Traversée de cours d'eau remise en état par l'ensemencement des berges (au premier plan). Fossés transverses et débris utilisés dans le sentier de débardage pour réduire la canalisation de l'eau de ruissellement (arrière-plan).



Préparation de terrain mécanique

Des traitements mécaniques de préparation de terrain sont souvent appliqués après la coupe afin d'améliorer les conditions de croissance de la régénération. Il s'agit entre autres de créer des microsites convenable en augmentant la température du sol, en améliorant le drainage autour des semis et en contrôlant la végétation concurrente. Les traitements de préparation de terrain ne causent pas de dommages au sol lorsqu'ils sont faits dans les règles de l'art. Le risque de dommages au sol est lié principalement à la formation d'ornières causées par les roues ou les chenilles de l'engin utilisé. Si la préparation de terrain est faite à grande échelle dans un bloc et qu'il y a formation d'ornières, il est possible que le drainage soit fortement perturbé (figure 49).

Le risque d'orniérage dans les sols à texture moyenne ou fine est accru dans le cas de la préparation de terrain car le traitement est souvent réalisé plusieurs mois après la coupe ou même la saison suivant celle-ci. L'humidité du sol augmente avec le temps après l'élimination du couvert forestier et la résistance du sol diminue.

La préparation de terrain mécanique, comme la récolte, exige l'utilisation de débardeurs, de porteurs ou de tracteurs de grande taille. Ainsi, pour éviter les dommages au sol, il faut suivre les mêmes directives que celles qui sont décrites pour la récolte. Les précautions suivantes peuvent aider à éviter les dommages au cours des opérations de préparation de terrain.



Figure 49. Orniérage causé par la machinerie pendant la préparation de terrain.

- Ne procédez pas à la préparation de terrain si la résistance du sol est faible. Programmez les travaux lorsque le sol est suffisamment résistant pour permettre le passage de la machinerie sans qu'il y ait d'orniérage (figure 50). Pour certains traitements, cela peut se produire lorsque le sol est gelé en partie.
- Lorsque les conditions sont sèches, faites d'abord les travaux sur les sols fragiles à texture fine ou dans les zones humides qui sèchent périodiquement. Évitez de traiter les zones humides localisées qui forment facilement des ornières. Gardez les sols bien drainés, à texture grossière, pour plus tard, lorsque les conditions se détériorent.
- Évitez les passages répétés au même endroit.
- Orientez les traitements en sillons continus le long des courbes de niveau dans les pentes et parallèlement aux cours d'eau ou aux milieux humides pour éviter la canalisation du ruissellement de surface qui peut causer de l'érosion.
- Utilisez des pneus larges, des chenilles ou des chaînes pour accroître la portance et éviter le patinage.

Figure 50. Préparation de terrain dans un terrain bas au milieu de l'été, lorsque le sol est plus sec.



Travail d'équipe

Comme membres d'une équipe (figure 51), les opérateurs de machinerie, les entrepreneurs et les superviseurs ont différents niveaux de responsabilité quant aux décisions à prendre pour la protection des sols.



Figure 51. Il est préférable de travailler en équipe.

Rôles et responsabilités de l'opérateur de machinerie

- Passer en revue les cartes des blocs avec un superviseur avant le début des opérations et bien connaître l'emplacement des limites et des zones fragiles qui peuvent nécessiter un changement de la configuration de la machine ou des techniques employées.
- Rester à l'affût des conditions autour de la machine en tout temps, afin de prévoir les changements de l'humidité du sol et de modifier les pratiques avant que des dommages surviennent.
- Comprendre les règles établies localement quant à l'arrêt des travaux, au déplacement ou aux changements de techniques de travail lorsque la résistance du sol se dégrade et prendre des mesures en conséquence.
- En tout temps, utiliser les machines de façon à réduire les déplacements et les manœuvres inutiles dans un bloc de coupe.

Rôles et responsabilités de l'entrepreneur

- Choisir les caractéristiques et les options des machines et appliquer des techniques de travail qui peuvent réduire les dommages au sol.
- Être conscient des changements de conditions, voir à ce que tous les opérateurs comprennent les règles locales quant à l'arrêt des travaux et modifier les opérations en conséquence pour éviter les dommages au sol. Voici des exemples de conditions qui interrompraient le débardage :
 - Si la machine a de la difficulté à faire un passage sans former une ornière ou si la réduction du nombre de passages (p. ex., en réduisant la distance d'extraction) ou de la charge n'empêche pas la formation d'ornières.
 - Lorsque l'utilisation de pneus de plus grand diamètre ne permet pas une meilleure portance et que l'utilisation de tapis de débris ligneux n'est plus efficace.
 - Lorsque l'état du sol à la fin de la journée (ou de la semaine) est à la limite de l'acceptable et que d'autres précipitations sont attendues.

Rôles et responsabilités du superviseur

- Voir à ce que l'entrepreneur en récolte soit formé à reconnaître les zones fragiles et à éviter de causer des dommages au sol. Voir également à ce qu'il soit au courant de l'emplacement des sols fragiles dans un bloc de coupe avant le début des opérations. Il est recommandé de marcher dans les blocs de coupe avant la récolte pour repérer les zones fragiles qui ne sont pas cartographiées.
- Lorsque les conditions changeantes diminuent la résistance du sol, s'assurer que les règles préalablement établies pour l'arrêt ou la modification des opérations sont comprises et appliquées.
- Favoriser l'utilisation de techniques qui réduisent les dommages au sol et préservent les régimes de drainage naturels.
- Coordonner le travail des engins de récolte de façon à réduire les dommages au sol (p. ex., fournir des blocs de rechange à l'entrepreneur afin que les machines puissent être déplacées vers des sols plus adéquats en perturbant le moins possible les opérations).

Annexe I — Prévention des dommages au sol en terrain fragile lorsque le sol n'est pas gelé

Sols à texture fine

Les sols minéraux, qui ont une composante d'argile ou de limon, fournissent un bon support pour le déplacement de la machinerie lorsqu'ils sont secs, mais ont une faible résistance lorsqu'ils sont humides.

Problèmes – Les conditions peuvent se détériorer rapidement en raison de l'accroissement rapide de l'humidité du sol causée par les pluies d'été, ce qui rend les sols susceptibles au compactage, à l'orniérage, à l'érosion et à la formation de mares. L'exposition de sols argileux suivant l'élimination de la couverture morte peut créer un milieu difficile pour les semis en raison de la sécheresse du sol et du déchaussement.

Techniques pour éviter les dommages :

- Faites les opérations sur les sols à texture fine lorsqu'ils sont secs.
- Surveillez de près les conditions d'humidité du sol après les pluies d'été et soyez prêts à arrêter ou à modifier les opérations s'il y a risque de compactage, d'orniérage ou d'érosion.
- L'utilisation de pneus larges (> 85 cm) ou d'essieux tandems équipés de chenilles pour réduire la pression au sol allongera la période d'exploitabilité lorsque l'humidité du sol augmente.
- Dans les pentes, évitez l'exposition du sol par la machinerie pour diminuer les risques d'érosion. Utilisez la portée maximale de la flèche de l'abatteuse pour réduire les déplacements.



Figure A1. Orniérage causé par le débardage dans un sol à texture fine après de fortes pluies.

- Pensez à la possibilité d'utiliser des débardeurs à câble plutôt qu'à grappin pour éviter que les machines se déplacent dans les pentes.
- Aménagez les jetées dans des sites bien drainés, de préférence en terrain stable et plat ou à pente faible.
- Utilisez les traitements de préparation de terrain mécaniques qui laissent le plus de couverture morte intacte possible (p. ex., les scarificateurs à placeaux) tout en respectant les objectifs de régénération forestière associés au site. Évitez les traitements comme le scarifiage avec des accessoires lourds ou le déblaiement à la lame en été, qui peuvent causer une exposition excessive du sol minéral.

Sols organiques (tourbières, fondrières ou marécages)

Les sols comportant des couches de matière organique épaisses (> 40 cm) en surface, qui varient d'humides à mouilleux toute l'année, ont une faible capacité portante pour la circulation des machines. Ils comprennent les zones de transition adjacentes aux sols organiques, formées de sol minéral humide dont les couches organiques ont une épaisseur de 20 à 40 cm. Les zones de transition sont plus susceptibles de faire partie des opérations d'été que les sols organiques plus profonds, car elles sont souvent adjacentes à des sols plus secs et plus faciles d'utilisation. Ainsi, le passage des machines y est possible quand le sol n'est pas gelé.



Figure A2. Traces de machines dans un sol organique.



Les *sols organiques* sont constitués de matière d'origine organique (plantes et animaux) à divers stades de décomposition.

Les matières *humiques* sont formées de tourbe fortement à complètement décomposée, qui montre une faible résistance et est susceptible à l'orniérage à moins d'être gelée.

Les matières *fibriques* sont de composition fibreuse avec une structure végétale reconnaissable et peuvent supporter le passage de machines équipées de pneus à grande portance lorsqu'elles ne sont pas gelées. Les sites dominés par la matière fibrique ont tendance à supporter des peuplements purs d'épinette noire où le tapis végétal est constitué de sphaignes. L'aulne rugueux, le mélèze (dans les terrains bas) et le cèdre sont typiques des milieux où prédominent les matières humiques plus humides.



Figure A3. Couche organique épaisse sur un sol minéral.

Problèmes – Les sols organiques peuvent être endommagés facilement par le compactage, l’orniérage et la création de mares, ce qui nuit au drainage, provoque la remontée de la nappe phréatique, occasionne des dommages à la régénération préétablie ou aux arbres matures et favorise la compétition des plantes indésirables. Cela peut mener à une réduction de la productivité du site. Les matières fibriques ont une certaine capacité portante pour l’équipement

muni de pneus à grande portance lorsqu’elles ne sont pas gelées, alors que les matières humiques bien décomposées ont une faible résistance et devraient faire l’objet d’opérations seulement quand elles sont gelées. La matière organique bien décomposée supporte mieux la circulation de la machinerie lorsqu’elle est gelée que la matière fibrique. Certains sites à sol organique ont un fort débit d’eau souterraine qui résistera longtemps au gel.

Techniques pour éviter les dommages :

- Lors des opérations d’été sur des sols organiques formés de matières fibriques, utilisez des engins de récolte équipés de pneus à grande portance, de chenilles ou encore d’essieux tandems munis de chenilles et privilégiez les périodes plus sèches.
- Utilisez des débardeurs munis de flèches de chargement articulées ou de grappins pivotants pour réduire les manœuvres lors du chargement.
- Surveillez les conditions constamment et déplacez les opérations vers un sol moins fragile si des dommages se produisent, ou réduisez les charges pour éviter de défoncer complètement le tapis de matière organique.
- Si la protection de la régénération préétablie n’est pas une priorité, utilisez un mode de débardage par sentiers dispersés pour éviter de défoncer le tapis de matière organique.
- Si la protection de la régénération préétablie est une priorité et que le débardage se fait dans des sentiers définis, étendez des cimes et des branches dans les sentiers pour en accroître la capacité portante, en particulier dans les zones à forte circulation.
- Évitez les virages serrés ou limitez les zones de manœuvre aux sols à forte résistance.
- Conservez la couche de racines superficielles intacte pour accroître la capacité portante des sols organiques.
- Gardez intacte la couverture de mousses en surface pour éviter la perte de lits de germination.
- Évitez les activités des machines qui peuvent bloquer ou faire obstacle au drainage, notamment par des ornières dues aux pneus ou aux chenilles et des débris empilés dans les cours d’eau ou les chenaux de drainage.
- Aménagez les jetées de telle sorte que les débardeurs n’aient pas à traverser ni à perturber les chenaux de drainage naturels.
- Des crampons épais sur les chenilles empêchent le patinage et le déchirement de la couverture morte organique.

Zones riveraines

Zones où la terre et l'eau se rencontrent, qui sont adjacentes à des cours d'eau, ruisseaux, eaux d'infiltration et mares ou encore situées autour de milieux humides, de rivières ou de lacs.

Problèmes – La sensibilité de ces zones à la perturbation de la végétation ou des sols peut occasionner de l'érosion et de la sédimentation, la perte de nutriments dans les cours d'eau ou des changements artificiels à l'habitat. L'humidité du sol est souvent élevée et la résistance du sol faible dans les zones riveraines ou à proximité.

Techniques pour éviter les dommages :

- Dans les zones où les sols sont sujets à l'érosion, privilégiez les opérations là où les sols sont secs. Cessez les opérations dans les zones riveraines pendant les fortes pluies et évitez ces zones au printemps car ce sont les dernières à redevenir fermes.
- Minimisez le déplacement des machines dans les zones riveraines, même si elles peuvent y entrer.
- Évitez les dommages à la végétation résiduelle et à la couverture morte, car elles servent d'ancrage pour le sol et réduisent l'impact des fortes pluies.
- Avec une abatteuse-groupeuse, entrez dans le peuplement, coupez plusieurs arbres, reculez et empilez les tiges sur un sol sec.
- Utilisez des flèches à longue portée sur une abatteuse multifonctionnelle lorsque c'est possible pour réduire au minimum les déplacements de la machine.
- Utilisez des machines munies d'essieux tandems et de chenilles pour réduire la pression au sol sans accroître la largeur de la machine.
- Utilisez des débardeurs ou des porteurs équipés d'un grappin à flèche pivotante pour réduire les manœuvres lors du chargement.



Figure A4. Zone riveraine adjacente à un bloc de coupe.

- Modifiez les systèmes conventionnels en abattant les arbres manuellement vers l'extérieur de la zone et utilisez un débardeur à câble pour tirer les tiges par la cime.
- Les câbles principaux faits de fibres synthétiques offrent une longue portée de treuillage et, lorsqu'on les emploie avec des treuils à double tambour et des télécommandes, ils permettent de réduire fortement les dommages à la végétation et aux sols dus à ces opérations.
- Utilisez les déchets de coupe des systèmes par bois tronçonnés, des pontages ou des tapis de branches pour réduire l'impact dans les sentiers ou lors de la traversée de zones d'infiltration ou de dépressions saturées.
- Utilisez les marches à suivre et les structures approuvées pour choisir l'emplacement et protéger les traversées de cours d'eau contre l'introduction de sédiments ou de déchets de coupe.
- Faites le débardage parallèlement aux zones riveraines adjacentes plutôt qu'à angle droit pour empêcher la canalisation des sédiments provenant de l'érosion dans la zone riveraine.
- Utilisez des branches pour construire des filtres-pièges là où l'érosion ou les mouvements du sol peuvent être un problème (zones d'arbres déracinés et autres zones où le sol minéral est exposé).
- Aménagez les jetées loin des zones riveraines.
- Évitez la préparation de terrain dans les zones riveraines.

Pentes fortes

Les pentes fortes sont des pentes qui présentent un risque d'érosion, de mouvements de masse et d'affaissement. La susceptibilité augmente avec le degré d'exposition du sol, l'intensité de la pente et les textures fines. Le risque d'érosion est plus grand sur les longues pentes, peu importe la texture du sol.

Problèmes – Maintenir la stabilité du sol en réduisant au minimum l'exposition, en préservant les régimes de drainage naturels et en conservant un certain couvert protecteur formé d'arbres, de végétation de sous-étage et de plantes au sol, ainsi que le tapis de racines.

Techniques pour éviter les dommages :

- Planifiez les routes et les jetées de façon à éviter le débardage en descente et en particulier en montée dans les pentes fortes, lorsque c'est possible.
- Faites le débardage le long de « paliers » de faible pente ou dans des sentiers établis.
- Aménagez les sentiers de porteurs de façon à réduire au minimum l'exposition du sol et l'obstruction du drainage naturel. Dans les pentes, protégez les sentiers de l'érosion à l'aide de tapis de branches.
- À intervalles convenables, aménagez des ouvrages de déviation (fossés, bermes surélevées ou débris ligneux) pour détourner l'eau qui s'écoule le long des sentiers vers la végétation environnante, pour dissiper l'énergie et pour filtrer l'eau avant qu'elle retourne aux cours d'eau.
- Pour le débardage dans les pentes, réduisez la charge, utilisez le mode de débardage dispersé et évitez les virages.
- Considérez l'utilisation de débardeurs à câbles, de porteurs légers ou du téléphéage.
- Utilisez la portée maximale de la flèche de l'abatteuse pour réduire les déplacements dans les pentes fortes.
- Laissez les débris ligneux répartis sur le site. Les amas de débris peuvent servir à stabiliser les ornières, les sentiers sujets à l'érosion et les petits ravins.
- Lorsque c'est possible, déplacez les opérations vers un terrain plus plat lors des périodes de pluie prolongées.
- Utilisez la coupe manuelle ou des abatteuses plus petites dont le centre de gravité est bas et la pression au sol, faible.
- Utilisez des traitements légers de préparation de terrain mécanique le long des courbes de niveau dans les sections montagneuses. Évitez la préparation de terrain mécanique dans les pentes très fortes.



Figure A5. Construction d'un sentier avec une pelle mécanique dans un terrain à pente forte dans le centre de Terre-Neuve.

Topographie variée

Blocs complexes où la texture, la profondeur et la teneur en humidité du sol sont variables, allant des sables bien drainés des hautes terres aux sols organiques mal drainés des terrains bas, ou topographie vallonnée comprenant de petites zones humides sous formes de chenaux de drainage, de baissières, d'eau d'infiltration et de poches de matière organique.

Problèmes – Difficulté d'utiliser l'équipement autour des milieux humides tout en évitant les dommages au sol et de choisir le moment de laisser les milieux humides pour les opérations d'hiver (sol gelé) lors des opérations d'été.

Techniques pour éviter les dommages :

- Tenez compte des conditions de terrain lors du choix du mode d'abattage et de l'emplacement des jetées pour privilégier le débardage du bois sur les sols les plus résistants.
- Lorsqu'il y a des milieux humides, établissez soigneusement le mode de débardage et la disposition des sentiers pour éviter de traverser ces zones.
- Utilisez uniquement les techniques approuvées pour traverser les milieux humides, décrites dans la section Le travail à proximité des milieux humides.
- Pendant les opérations d'été, marquez les limites des zones à sols organiques et autres sols humides prévus pour la récolte d'hiver afin de guider les opérateurs d'abatteuses. Lorsqu'il y a de nombreux milieux humides dans un bloc, songez à récolter tout le secteur en hiver.
- Aménagez les routes et les jetées sur des terrains élevés à proximité des zones d'opérations d'hiver pour assurer un accès toute l'année.
- Évitez la préparation de terrain mécanique lorsqu'il y a beaucoup de cours d'eau et d'eau d'infiltration.



Figure A6. Topographie variée montrant un terrain humide adjacent à des milieux mieux drainés.

Sols minces sur la roche en place

Topographie irrégulière faite de roche en place recouverte de sols minces (0 à 60 cm), souvent des sables ou des sols de texture variable avec des dépôts organiques humides dans des bassins gorgés d'eau et des chenaux de drainage.

Problèmes – Les sols minces montrent une faible fertilité et des conditions d'humidité très variables entre le sommet des crêtes et les dépressions, souvent sur une très courte distance. L'érosion et la perte de nutriments sont des problèmes qui concernent les milieux secs et les sols à faible résistance peuvent facilement donner lieu à la formation d'ornières dans les dépressions.

Techniques pour éviter les dommages :

- Gardez intacte la végétation résiduelle pour fournir de l'ombre et retenir les sols et la couverture morte.
- Favorisez le débardage dans des sentiers désignés plutôt que dans des sentiers dispersés pour limiter les dommages à une petite surface et garder la couverture morte intacte.
- Évitez le passage des machines dans les poches humides, qui forment facilement des ornières, et utilisez des pneus larges pour assurer une grande portance.
- Choisissez les affleurements rocheux pour aménager les jetées et les sentiers d'extraction, là où c'est possible, plutôt que des terrains productifs; réduisez au minimum l'utilisation des bulldozers pour l'aménagement des jetées.
- Évitez la préparation de terrain mécanique sur les sols très minces ou utilisez des modes de préparation de terrain légers comme le scarifiage par placeaux intermittents ou par traînage d'accessoires légers.



Figure A7. Vue aérienne d'un site à sols minces sur la roche en place montrant des dépressions organiques humides entre les affleurements rocheux.

Sols grossiers secs et sables éoliens (dunes)

Sols dont la composition varie des sables moyens à très grossiers jusqu'aux sables fins ou limoneux, comprenant peu de plantes ou de buissons en sous-étage.

Problèmes – Sol de faible fertilité; plus il est grossier et sec, moins il stocke de nutriments et plus grand est le risque de pertes en productivité à long terme. Séchage en surface; les sols bien drainés peuvent sécher de façon excessive en surface lorsque le couvert forestier est éliminé en raison d'une forte évaporation. Les sols à texture fine sont sujets à l'érosion par le vent et la revégétalisation peut être difficile une fois les sols exposés.

Techniques pour éviter les dommages :

- Utilisez des techniques de coupe et de préparation de terrain qui conservent le mieux possible la végétation du sous-étage, la couverture morte et le tapis de racines.
- Si possible, placez des déchets de coupe (c.-à-d. des cimes et des branches ou une mince couche de débris de copeaux) là où le sol est exposé et dans les zones de circulation intense pour stabiliser les sols et éviter l'érosion par le vent et l'eau.
- Limitez la construction de routes ainsi que la taille et le nombre de jetées et entassez la terre végétale aux jetées en vue de son épandage lors de la remise en état.
- Évitez la préparation de terrain mécanique sur les sables éoliens ou utilisez des techniques légères comme le scarifiage par placeaux intermittents ou par traînage d'accessoires légers. Évitez le déblaiement à la lame.



Figure A8. Sables éoliens

Remerciements

Les renseignements nécessaires à la rédaction du présent manuel de terrain proviennent d'une variété de documents ainsi que de l'expérience de nombreux forestiers praticiens. Des gestionnaires de territoires forestiers du gouvernement et de l'industrie forestière de l'est du Canada, dont la liste suit, ont également fourni commentaires critiques et orientation :

Rod Badcock, Bowater Mersey Paper Company Ltd., Liverpool, NS
 Gunnar Bygdén, Olofsfors AB, Nordmaling, Suède
 Wade Cable et Ken Broughton, Louisiana-Pacific Canada, Swan River, MB
 Fiona Donald, Tolko Industries Ltd., The Pas, MB
 Dan Duckert, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Thunder Bay, ON
 Anne Hollahan et Bruce Coombs, Kruger-Corner Brook Pulp and Paper Ltd., Corner Brook, NL
 Bill Howe, Industries Norbord Inc., Cochrane, ON
 Vince Keenan, Tembec Inc., Pine Falls, MB
 Kevin Keys, Nova Scotia Department of Natural Resources, Truro, NS
 Jennifer Landry, UPM Kymmene-Miramichi Inc., Miramichi, NB
 Jeff Leach, Tembec Inc., Spruce Falls, Kapuskasing, ON
 Keith Ley, Domtar Inc., Nairn Centre, ON
 Chalmers MacLeod, Stora Enso Port Hawkesbury Ltd., Port Hawkesbury, NS
 Gary McKibbin, Weyerhaeuser Canada, Ontario Forestlands, Dryden ON
 Scott McPherson, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, South Porcupine, ON
 Kelly Pike, Grant Forest Products Inc., Englehart ON
 Bill Rose, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Peterborough, ON
 Al Stinson, Tembec Inc., Partenariat pour la recherche forestière, Mattawa, ON
 Neil Stocker, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Sault Ste Marie, ON
 Roy Sutton, Ressources naturelles Canada, Sault Ste. Marie, ON
 Tim Wirtanen, Bowater Maritimes Inc., Dalhousie, NB
 Eric Young, Newfoundland Forest Service, Corner Brook, NL

Simon Riffou et Benoit Bisson ont également fourni une contribution très utile quant aux illustrations, au texte et à la mise en page.

Source des figures

- Figure 2.** Photo de Gary McKibbin, Weyerhaeuser Canada, Dryden, ON.
- Figure 5.** Photo de Paul Sanborn, University of Northern British Columbia.
- Figure 6a.** Photo de Darren McCormick, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.
- Figure 6b.** Photo de Dave Anderson, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.
- Figure 7.** Photo de Dan Duckert, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.
- Figure 8a.** Photo de Dan Duckert, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.
- Figure 9a.** Photo de Dan Duckert, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.
- Figure 11.** Adapté de Arnup, 2000.
- Figure 12.** Photos de Ken Baldwin et Art Groot, Ressources naturelles Canada, de Susan Meades, Algoma University, et de Peter Uhlig, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.
- Figure 15.** Adapté d'une présentation de K. Greenway, Alberta Environment - Lands and Forest Service.
- Figure 24.** Photo de Ken Broughton, Louisiana-Pacific Corporation, Swan River.
- Figure 28b.** Photo de Gunnar Bygdén, Olofsfors AB.
- Figure 29b.** Photo de Gunnar Bygdén, Olofsfors AB.
- Figure 36.** Photo de Dan Simas, Tembec, Kapuskasing, Ontario
- Figure 44.** Photo de Bowater Mersey Paper Co. Ltd
- Figure 45.** Photo de Bowater Mersey Paper Co. Ltd
- Figure A2.** Photo de Eric Young, Newfoundland Forest Service
- Figure A3.** Photo de Mike Adams, Ressources naturelles Canada
- Figure A5.** Photo de Anne Hollahan, Corner Brook Pulp and Paper Ltd.
- Figure A7.** Photo de Dan Duckert, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario

Encadré Figure – Page 17. Simple test de consistance fait à la main.

Encadré Figure – Page 18. Profondeur du gel au sol.

Encadré Figure – Page 22. Calculer la pression au sol.

Encadré Figure – Page 25. Système d'essieu tandem.

Tableau 1. Caractéristiques des machines et leurs effets sur les sols.

Lectures suggérées

1. Pour plus d'information sur les questions de dommages aux sites et de pratiques exemplaires : Archibald, D.J; Wiltshire, W.B; Morris, D.M; Batchelor, B.D. 1997. *Forest management guidelines for the protection of the physical environment – version 1.0*. OMNR Information Centre, Toronto, ON. 39 p.
2. Pour plus d'information sur les pratiques exemplaires pour les sols organiques : Arnup, R. 2000. *Minimizing soil disturbance in forestry operations – A practical field guide for resource managers and equipment operators in northeastern Ontario*. Forêt modèle du lac Abitibi, Cochrane, ON. 26 p.
3. Pour plus d'information sur des tests simples pour déterminer la teneur en eau et la profondeur de gel d'un sol : Sutherland, B. 2003. *Preventing soil compaction and rutting in the boreal forest of western Canada – A practical guide to operating timber-harvesting equipment*. FERIC, Vancouver, BC. 52 p.
4. Pour une liste plus complète des saines pratiques d'aménagement utilisées dans l'industrie forestière : Ryans, M.; Lirette, J. 2004. *Base de données sur les saines pratiques d'aménagement sur CD-ROM*. FERIC, Pointe-Claire, QC
5. Makkonen, I. 1989. *Choisir un porteur à roues pour la récolte de bois courts*. FERIC, Pointe-Claire, QC. Note technique no. TN-136. 12 p.
6. Ressource suggérée pour le calcul de la pression au sol des pneus et des chenilles : Makkonen, I. 2005. *Calculatrice de la pression au sol pour l'équipement forestier*. (logiciel) FERIC, Pointe-Claire, QC.
7. Pour des renseignements additionnels sur la récolte : Peacock, H. 1996. *Manual for environmentally responsible forestry operations in Manitoba – a practical guide towards sustainable forestry operations*. Technology Transfer Committee, Forêt modèle du Manitoba Inc. 47 p. (Ce manuel a aussi été adapté pour l'Ontario et est disponible auprès de la Forêt modèle du lac Abitibi).
8. Pour plus d'information sur les structures de traversées de cours d'eau : Partington, M.; Lirette, J. 2004. *Base de données sur les structures portatives pour les traversées des cours d'eau*, CD-ROM. FERIC, Pointe-Claire, QC.

Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC)



Siège social et Division de l'Est
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

Site : www.feric.ca

Federal Economic Development Initiative for Northern and rural Ontario (FedNor)



FedNor est une initiative du gouvernement du Canada qui vise à répondre aux besoins du Nord de l'Ontario en matière de développement économique. En collaboration avec de nombreux partenaires et par le truchement de ses programmes et de ses services, FedNor contribue au financement de projets communautaires et d'autres initiatives ayant pour but d'améliorer le bien-être économique et social des gens de tout le nord.

Site Web : <http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/infednor-fednor.nsf/fr/Home>