

Guide pratique

Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL »



Coordination : Didier Pischedda



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE



Guide pratique

**Pour une exploitation forestière
respectueuse des sols
et de la forêt
« PROSOL »**

Coordination Didier Pischedda



© Office national des forêts, 2009

ISBN :

Ce guide a été imprimé sur papier certifié PEFC

Toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, de la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite (article L.122-4 du Code de la propriété intellectuelle) et constitue une contrefaçon.

L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre Français d'Exploitation du droit de Copie (CFC) - 20, rue des Grands-Augustins - 75006 PARIS - Tél. : 01 44 07 47 70 / Fax : 01 46 34 67 19

Crédits photos de couverture : D.Pischedda / ONF, J.-L. Chagnon / ONF, L. Migaud / MEEDDAT, FCBA

Chapitre I : D. Pischedda / ONF

Chapitre II : D. Pischedda / ONF

Chapitre III : J.M. Stoquert / ONF

Chapitre IV : FCBA

Chapitre V : L. Migaud / MEEDDAT

Annexes : D. Pischedda / ONF

Remerciements

Ce Guide est le fruit d'un travail pluridisciplinaire important et novateur. Il a demandé aux rédacteurs comme aux relecteurs une volonté de synthétiser des informations complexes et de les présenter de manière la plus claire possible.

Ainsi, les personnes ci-dessous sont chaleureusement remerciées pour leur contribution active et engagée à la réalisation de cet ouvrage.

Rédacteurs :

Michel Bartoli – ONF
Alain Brêthes – ONF
Emmanuel Cacot – FCBA
Jean-Luc Chagnon – FCBA
Xavier Gauquelin – ONF
Manuel Nicolas – ONF / INRA
Didier Pischedda – ONF (Coordinateur)
Claudine Richter – ONF

Relecteurs :

Vincent Augé – ONF
Michel Bailly – Forêt Wallonne
Jacques Becquey – IDF
Vincent Benard – ONF
Mikael Buors – ONF
Fabien Carouille – DSF
Charles Dereix - FNCOFOR
Jean Luc Flot - DSF
Michel Hubert – DGPAAT
Pascal Jarret – ONF
Jean-Pierre Laurier – FCBA
Luc Mauchamp – MEEDDAT
Dominique Messant – ONF
Christine Micheneau – ONF
Philippe Monchaux – FCBA
Frédéric Mortier – ONF
Brigitte Pilard-Landeau – ONF
Jacques Ranger – INRA
Georges Rémy – GSETFA
Richard Rosfelder † – GSETFA
Thierry Sardin – ONF
Christian Thiebaut – ONF

Un grand merci également à tous ceux qui ont apporté leur aide précieuse quant à la collecte des informations, des graphiques et des schémas d'illustration, sans oublier celles et ceux qui ont apporté leur appui à la conception et à la mise en page de ce guide.

Didier Pischedda

Ce projet a bénéficié de l'aide financière du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (Direction Générale des Politiques Agricoles, Agroalimentaires et des Territoires).

Ce guide est la finalisation d'un projet mené, sous l'acronyme PROSOL, par l'Office national des forêts et l'Institut Technologique FCBA en partenariat avec l'INRA, le CNPPF-IDF, le GSETFA et en liaison avec des représentants de la FNCOFOR, de la FNB, du MEEDDAT et du DSF.

Ce document ne traite pas des aspects liés à la fertilité chimique des sols. A ce sujet, s'appuyer notamment sur le guide ADEME « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » et la note de service ONF pour les forêts publiques.

Sigles :

ADEME : Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Energie
CNPPF - IDF : Centre National Professionnel de la Propriété Forestière - Institut de Développement Forestier
DSF : Département santé des forêts
FCBA : Institut Technologique Forêt Cellulose Bois construction Ameublement
FNB : Fédération nationale du bois
FNCOFOR : Fédération nationale des communes forestières
GSETFA : Groupement syndical des Entrepreneurs de Travaux Forestiers Alsaciens
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
MEEDDAT : Ministère de l'environnement, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire
ONF : Office National des Forêts

Introduction

La mécanisation fait aujourd'hui partie du quotidien de l'exploitation forestière et l'apport de rentabilité et de confort de travail que celle-ci procure n'est plus à démontrer. Cependant les gestionnaires s'inquiètent quant aux impacts de la circulation des engins forestiers sur les sols. Ces réflexions sont d'autant plus importantes que se dessine une politique de mobilisation accrue des ressources forestières françaises inscrite aux résultats des travaux du Grenelle de l'environnement.

Nous posons dans ce guide technique, d'une part les fondamentaux concernant le sol forestier et les raisons de sa nécessaire prise en compte dans les actes de gestion, et d'autre part les systèmes d'exploitation avec les machines et accessoires utilisés aujourd'hui en France. Il donnera à l'ensemble des acteurs concernés - propriétaires, gestionnaires, entreprises de travaux, sociétés d'exploitation forestière, ouvriers forestiers - les informations nécessaires à un meilleur discernement des enjeux de chacun.

Ce guide propose ainsi un diagnostic innovant pour déterminer la sensibilité du sol au tassement et optimiser le choix du système de récolte. Il en découlera une meilleure organisation de la circulation des machines en forêt. Les préoccupations concernant l'érosion en zone de pente sont similaires mais ne seront pas détaillées dans cet ouvrage.

Cette expertise de diagnostic doit être intégrée le plus à l'amont possible, pour bien prendre en compte les facteurs à la fois environnementaux, économiques et sociaux qui interfèrent avec l'ensemble des interventions forestières prévues tout au long de la vie d'un peuplement. La diversité des situations forestières, topographiques et paysagères est extrêmement importante dans notre pays et il nous a semblé important de développer une méthode d'approche qui favorise une compréhension globale. En dernier ressort, il restera nécessaire de s'adapter à la réalité de terrain.

C'est le cas des cloisonnements d'exploitation devenus incontournables pour la récolte des produits forestiers et nous présentons une démarche, aussi complète que possible, pour leur mise en place. De même, nous développons dans un chapitre les câbles aériens et la petite mécanisation qui sont des outils complémentaires aux systèmes terrestres classiques. Ces deux systèmes alternatifs d'exploitation méritent d'être mieux connus compte tenu des bénéfices dégagés par le peu d'impacts causés au sol.

Cette vision d'ensemble sera, nous l'espérons, le gage d'une meilleure gestion durable des espaces forestiers.

*« Le sol est le « nœud » de l'écosphère,
le sol sur lequel vous marchez, duquel vous mangez,
le sol est votre peau, votre vie. »*

J. M. G. Le Clézio
Ourania
(Prix Nobel de littérature 2008)

Sommaire

1 Pourquoi l'exploitation doit-elle être respectueuse du sol ? 9

Qu'est-ce qu'un sol ?..... 9

La biodiversité des sols, un enjeu particulier et pourtant méconnu..... 9

L'exploitation forestière peut être à l'origine d'une dégradation du sol 10

Les pressions au sol exercées par les machines..... 11

La sensibilité d'un sol au tassement et à l'érosion dépend de divers facteurs 13

La charge en cailloux 13

La texture du sol 13

La structure du sol 14

L'humidité du sol 15

L'hétérogénéité des horizons du sol 16

Conséquences du tassement 18

Sur la structure du sol 18

Sur l'activité biologique du sol et la biodiversité 21

Sur le développement des racines 21

Sur les peuplements..... 22

En phase de régénération..... 22

Sur le peuplement adulte 22

2 Comment diagnostiquer la sensibilité du sol ?..... 25

En pratique, comment diagnostiquer la sensibilité d'un sol au tassement et à l'érosion ? 27

Démarche d'observation 27

Le diagnostic de sensibilité du sol ne doit pas se limiter à une observation de surface. 27

Le diagnostic doit porter sur l'ensemble de la surface à parcourir 27

Le diagnostic final se base sur la plus forte sensibilité observée 27

Diagnostic de sensibilité du sol au moment de la coupe 28

Prévoir un système d'exploitation adapté 29

Conseils d'exploitation par classe de sensibilité au tassement..... 30

3 Les cloisonnements 35

Le sens des cloisonnements 36

Le sens des cloisonnements en terrain plat ou faiblement pentu (pente < 10 %)..... 36

Le sens des cloisonnements sur les versants 38

La largeur des cloisonnements..... 38

Le pas de cloisonnement 39

Choix du pas de cloisonnement 41

Absence de cloisonnement d'exploitation..... 43

Présence de cloisonnements d'exploitation 44

Les protections à joindre aux cloisonnements..... 45

Protection du sol par la pose des rémanents d'exploitation 45

Protection des tiges en sortie de cloisonnements 46

Prise en compte du paysage..... 47

Perception rapprochée 47

Perception éloignée..... 48

Cohérence des plans de circulation 50

Mode de matérialisation des cloisonnements	51
Implantation du système de cloisonnement.....	51
Exemple 1 :	54
Exemple 2 :	55
4 Les systèmes d'exploitation forestière.....	57
Les systèmes terrestres	59
Bûcheronnage manuel et débardage « classique ».....	59
Bûcheronnage mécanisé et débardage « classique »	60
Bûcheronnage manuel et petite mécanisation	61
Les systèmes terrestres pour le bois énergie	62
Sur coupe	62
Sur piste ou place de dépôt	63
Les systèmes aériens	64
Bûcheronnage manuel et câble	64
Bûcheronnage manuel et hélicoptère	65
Les accessoires des machines forestières	66
Les pneus larges.....	66
Les chenilles.....	68
Les chaînes	68
Les tracks.....	68
Les kits de franchissement des cours d'eau	70
Les câbles synthétiques	71
5 Les câbles aériens et autres techniques alternatives.....	73
Le débardage par câbles aériens.....	73
Les matériels de débardage par câbles aériens	73
<i>Les câble-mâts</i>	73
<i>Les chariots autotractés</i>	74
Organisation du travail.....	75
<i>Le montage</i>	75
<i>Le débardage</i>	76
Productivité.....	77
Coûts.....	79
Bénéfices	79
Inconvénients.....	80
La petite mécanisation	80
Le cheval de fer	80
Impacts au sol.....	82
Productivité.....	82
Méthode de vidange mixte	84
6 En guise de conclusion	87
Annexes	91
Annexe 1 : Protocole d'échantillonnage	93
Annexe 2 : Estimation croisée de la texture et de l'état d'humidité d'un sol	97
Glossaire	99
Principales références bibliographiques.....	107

1 Qu'est-ce qu'un sol ? **9**

2 Les pressions au sol exercées par les machines **11**

3 La sensibilité d'un sol au tassement et à l'érosion **13**

4 Conséquences du tassement **18**



Pourquoi l'exploitation doit-elle être respectueuse du sol ?

Qu'est-ce qu'un sol ?

Un sol est constitué de terre, d'air, d'eau, de matières organiques et d'organismes vivants ; c'est un véritable écosystème.

Le sol assure plusieurs fonctions fondamentales :

- support physique dans lequel s'enracinent les arbres ;
- réservoir dans lequel la végétation puise l'eau et les éléments nutritifs dont elle a besoin ;
- habitat pour une flore et une faune très variées ainsi que pour des microorganismes décomposeurs permettant le recyclage des matières organiques et en conséquence le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

Les caractéristiques physico-chimiques des sols ne sont pas invariantes à l'échelle du siècle ; elles évoluent naturellement en fonction des climats, mais aussi des activités humaines, soit de manière directe selon le type et l'intensité de la gestion forestière pratiquée, soit de manière indirecte sous l'effet des dépôts atmosphériques.

Le sol est donc le support de toute vie et une ressource «naturelle» à préserver dont dépend en partie la production forestière, la santé des forêts, la qualité des eaux de surface...

La biodiversité des sols, un enjeu particulier et pourtant méconnu

Les sols constituent l'un des écosystèmes les plus complexes et les moins bien connus. Ils contiennent des milliers d'organismes différents qui interagissent et participent aux cycles de la biosphère. Aucun autre habitat ne présente une densité d'espèces aussi élevée.

Cette biodiversité joue un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers :

- les champignons mycorhiziens et les bactéries fixatrices d'azote participent à l'absorption des nutriments par les arbres et leur confèrent une résistance accrue aux maladies ;
- les organismes décomposeurs permettent le recyclage des éléments nutritifs contenus dans les matières organiques ;
- les vers de terre et autres organismes fouisseurs favorisent la structuration des sols, leur aération et ainsi la prospection des racines.

Cependant, la biodiversité des sols est elle-même très dépendante de leur structure, de leur aération, de l'humidité, et de l'importance de la matière organique. Aussi les pratiques de gestion influencent elles leur équilibre et leur qualité.

L'exploitation forestière peut être à l'origine d'une dégradation du sol

Tassement et érosion

L'air et l'eau circulent librement dans les pores les plus larges du sol. Or le tassement réduit fortement cette porosité, d'où une réduction du volume et une augmentation de la densité du sol. Il conduit à une diminution des possibilités de drainage naturel.

La mécanisation des opérations d'exploitations forestières peut entraîner des phénomènes de tassement et d'érosion des sols, menaçant leur intégrité physique, leur capacité de rétention en eau, la diversité des espèces liées aux sols, donc leur fonctionnement biologique et, finalement, le devenir de la forêt dans son ensemble.

Les moyens de « réparation » (labour, sous-solage) sont coûteux et peu efficaces, car un sol, même après ce type de travaux, ne retrouve pas sa structure originelle. Il est donc important de privilégier les moyens de prévention (voir chapitre 2).

Exportation d'éléments nutritifs

Le maintien du cycle des éléments nutritifs est assuré par le retour au sol des éléments puisés par l'arbre grâce à la litière et à sa minéralisation. De ce fait, il faut raisonner l'exploitation des menus bois*, qui concentrent une grande quantité d'éléments nutritifs, en fonction de la richesse des sols (voir Guide ADEME).

* Menus bois : cimes et branches de moins de 7 cm habituellement laissées sur coupe (les rémanents) mais mobilisés le plus souvent à des fins énergétiques

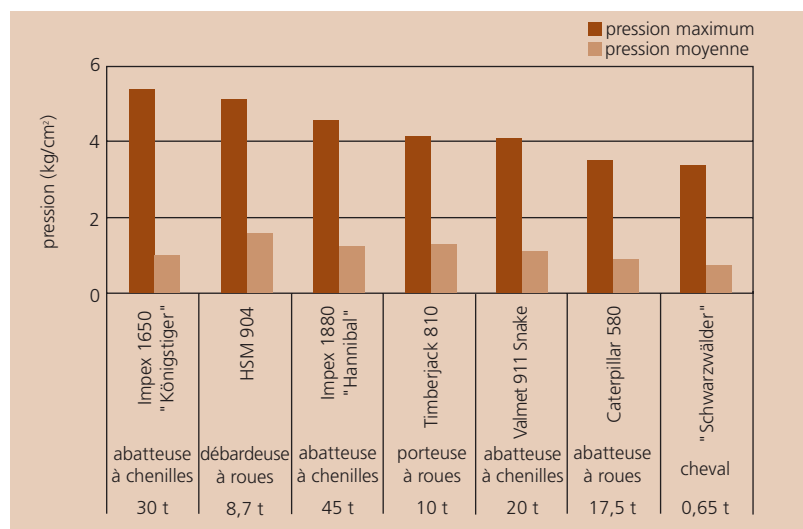
Les pressions au sol exercées par les machines

Un homme qui marche exerce une pression au sol de l'ordre de 0,15 à 0,2 kg/cm². Les ordres de grandeur des pressions moyennes exercées sur les sols par les machines vont de 1 à 5 kg/cm², soit 5 à 10 fois plus qu'un homme.

Les pressions exercées par les machines d'exploitation ou les engins de broyage :

- ne sont pas réparties uniformément sur toute la surface du pneu ou des chenilles en métal. La pression maximale ne s'exerce que sur environ 20 % de la surface du pneu, ce qui correspond à la surface des crampons qui permettent l'adhérence.
- ne sont pas réparties de façon symétrique suivant les roues : par conception des machines, par le jeu des charges qui portent beaucoup plus sur certains essieux, par la présence d'obstacles qui peuvent faire porter par une roue une forte surcharge momentanée...

Elles sont donc beaucoup plus fortes que la pression moyenne (*masse / surface des pneus*). Ceci est illustré par la figure ci-dessous.



Source : Horn et al. 2004

Pressions maximales et moyennes mesurées sous divers types d'engins d'exploitation

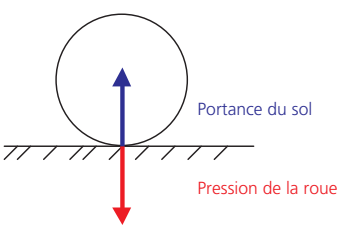
Par ailleurs, ces pressions s'exercent en profondeur et latéralement (jusqu'à 70 cm de profondeur et 80 cm de part et d'autre des roues).

La pression exercées par la roue sur le sol se définit comme suit :

Pression de la roue = Masse (charge) exercée sur la roue / surface de contact avec le sol.

La pression s'exprime en kg/cm^2 ou en bar ou en Pascal ($1\text{kg}/\text{cm}^2 = 1\text{ bar} = 100\text{ kPa}$)

La portance du sol est fonction de son humidité et vient contrebalancer la pression exercée par les roues. Si les deux sont équivalentes, les roues ne s'enfoncent pas dans le sol (voir encadré ci-dessous) :

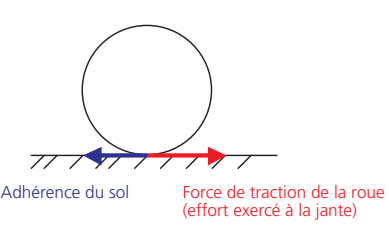


- Si la pression des roues est supérieure à la portance du sol => il y a tassement (la portance du sol augmente), enfoncement des roues et orniérage (la surface de contact augmente)... jusqu'à retrouver une situation d'équilibre sinon l'engin s'enfoncé complètement comme dans un marais.
- Pour retrouver l'équilibre portance-pression des roues, il faut :
=> soit diminuer la masse (diminution de la charge),
=> soit augmenter la surface de contact sans augmenter la charge (utilisation de pneus larges, de tracks et circulation sur rémanents...)

Exemple de portance du sol selon sa nature et son humidité :

Type de sol	Pouvoir porteur (en bars)	Type de sol	Pouvoir porteur (en bars)
Neige fraîche	0,1 – 0,3	Gravier	3 – 8
Marais	0,1 – 0,4	Neige tassée	4 – 8
Limons détremé	0,2 – 0,6	Argile sèche	4 – 12
Argile molle	0,5 – 1,5	Roche compacte	125
Sable tassé	3 – 8		

Les mêmes éléments sont valables pour la **traction des roues et l'adhérence du sol** :



- Si la force de traction des roues est supérieure à l'adhérence => il y a patinage avec effet de fraisage et scalpage des horizons superficiels en général plus porteurs (du fait de l'humus et des racines) que les horizons minéraux sous-jacents
=> il y a aggravation du phénomène + portance du sol qui diminue.

NB : comme pour la portance, l'adhérence d'un sol diminue lorsque son humidité augmente

La sensibilité d'un sol au tassement et à l'érosion

Les facteurs généraux de sensibilité sont différents selon que l'on s'intéresse au tassement ou à l'érosion :

- facteurs de sensibilité au tassement : charge en cailloux, texture, structure (drainage), humidité du sol, hétérogénéité des horizons du sol ;
- facteurs de sensibilité à l'érosion : climat, pente, structure.

Nous ne développerons ci-dessous que les différents facteurs de sensibilité au tassement.

La charge en cailloux

Les éléments grossiers (> 2 mm) constituent un squelette très portant lorsqu'ils dépassent 50 % du volume d'un sol. On peut donc circuler, même en période humide, sur des sols très caillouteux. Toutefois, en période d'engorgement, les sols caillouteux alluviaux ou de fond de vallon peuvent perdre leur structure sous le passage d'engins.

La texture du sol

Elle dépend de la taille des constituants de la terre fine (< 2 mm) et des propriétés qui lui sont liées. La proportion entre sables, limons et argiles peut s'estimer au toucher sur le terrain et permet de déterminer la sensibilité d'un sol au tassement en fonction de son humidité (voir tableau en annexe 2). Par ordre croissant de sensibilité au tassement, les textures des sols sont les suivantes :

- les sables, lorsqu'ils sont très majoritaires, peuvent constituer un squelette très portant en période humide, à l'inverse des sols à texture plus fine (argile et limon) et dépourvus de cailloux qui se tassent et fluent sous le poids des engins ;
- les argiles permettent une fissuration par alternances de gonflement/retrait, indispensables à la structuration du sol. Toutefois une couche de sol argileuse mal structurée ou déstructurée par le tassement devient très vite imperméable et peut être à l'origine de la formation d'une nappe d'eau temporaire ;
- les limons cumulent l'incapacité de gonflement/retrait des sables et l'imperméabilité des argiles en cas de mauvaise structuration ou de déstructuration. **Les sols limoneux sont ainsi les plus sensibles au tassement.**

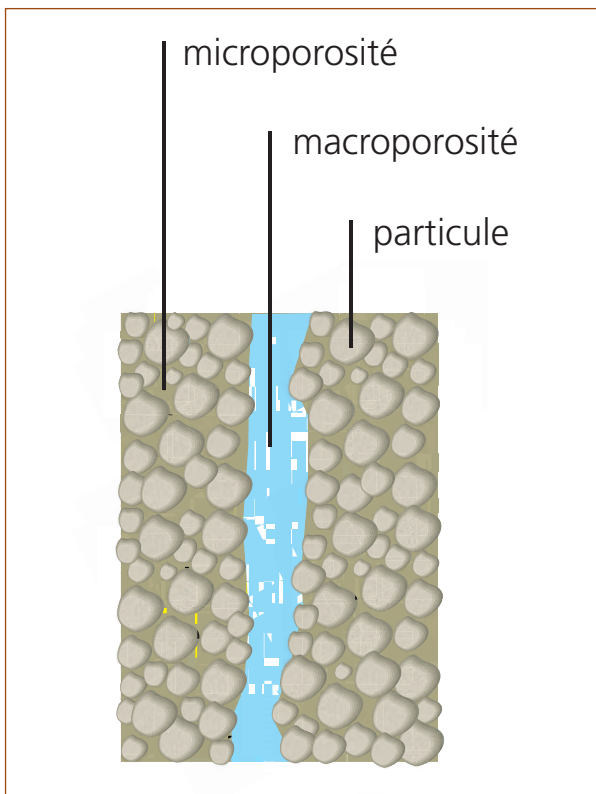
La structure du sol

Elle désigne le mode d'agrégation des particules élémentaires du sol. En conséquence, la formation d'agrégats entraîne la présence d'une porosité interstitielle qui conditionne fortement l'aération, le drainage et la capacité d'enracinement de la végétation.

La structure du sol résulte essentiellement de processus lents :

- **physiques (alternances gel / dégel et humectation / dessiccation)**
- **biologiques (rôle des vers de terre et des racines).**

Inversement, quelques passages d'engins peuvent suffire à détruire rapidement le sol.



Source : M A de Paul et Michel Bailly

Structure d'un sol

L'humidité du sol

Un sol est d'autant plus sensible au tassement qu'il est humide.

L'humidité varie fortement au cours du temps, en fonction des précipitations atmosphériques, de l'évapo-transpiration par la végétation et du drainage.

En France métropolitaine, sauf accidents climatiques, elle est ainsi plus importante en hiver qu'en été.

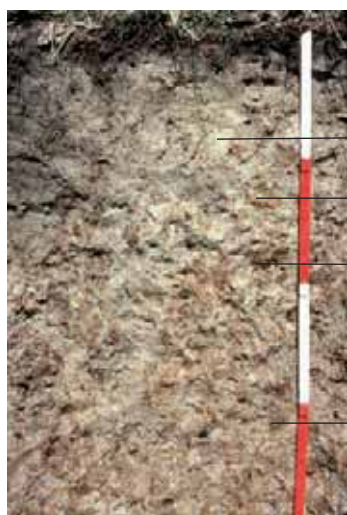
Le niveau d'humidité d'un sol peut être estimé sur le terrain de manière simple à l'aide du tableau présenté en annexe 2.

On parle de sol « engorgé » quand la macroporosité est remplie d'eau (humidité maximale) et qu'une nappe d'eau libre est présente. Il est facile de vérifier la présence d'une nappe en creusant un trou à la tarière.

Un engorgement peut être :

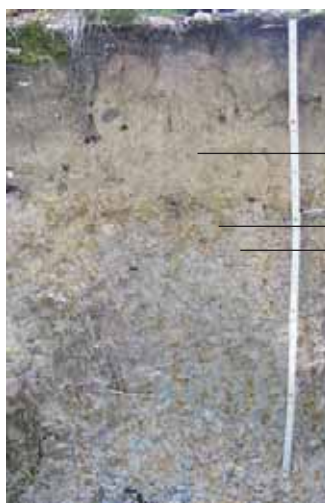
- permanent en tourbière ou si la nappe est alimentée régulièrement par un cours d'eau proche ou une source ;
- temporaire si la nappe, alimentée essentiellement par les pluies, repose sur une couche de sol imperméable (défaut de drainage en période humide). Un sol à nappe temporaire met toujours plus de temps à se ressuyer et est plus sensible au tassement qu'un sol bien drainé.

En période sèche, il est possible de déceler un engorgement par les traces de décoloration claires (perte de fer) et des traces de rouille (accumulation d'oxyde de fer) imprimées dans le sol par la stagnation d'une nappe d'eau. On parle de traces d'« hydromorphie ». La profondeur d'apparition de ces traces témoigne du niveau maximal atteint par une nappe d'eau. En cas d'engorgement permanent, l'horizon où stagne l'eau une grande partie de l'année présente une couleur bleutée à verdâtre (fer réduit) alors que le niveau de battement de la nappe a les mêmes caractéristiques que ceux mentionnés ci-dessus. Cet horizon bleuté ou verdâtre est absent en présence d'une nappe d'eau temporaire.



Décoloration
Réoxydation
Concrétion
Matrice

*Hydromorphie de surface
Sol sur limon*



Matrice
Réoxydation
Décoloration

*Décoloration et réoxydation
Sol sur sable-limoneux sur argile*

Source : A. Brethes / ONF

Sols à engorgement par nappe temporaire

Quelles que soient sa texture et sa charge en cailloux, un sol sec ou fortement gelé est toujours portant.

À l'inverse, un sol engorgé est toujours sensible au passage d'engins.

L'hétérogénéité des horizons du sol

Les sols sont classés selon la morphologie et les propriétés des couches (horizons) qui les composent. Cette superposition de couches peut modifier le comportement du sol sous le poids des engins par l'alternance de propriétés et de sensibilités variables. Ainsi un sol peut être sec en surface, mais très humide en profondeur : le passage d'engins entraîne alors un tassement en profondeur, pouvant notamment aggraver la dynamique d'une nappe temporaire.

Par exemple, les forêts de Sologne se développent souvent sur sol très sableux en surface avec un horizon argileux à faible profondeur qui se caractérise par la présence d'une nappe temporaire en hiver. Dans ce cas, au moment où l'horizon argileux sous-jacent est encore humide, un passage d'engin peut le déstructurer, diminuer sa capacité de drainage et entraîner une plus grande fréquence d'apparition de la nappe d'eau par la suite.

Le passage d'engins peut induire un tassement du sol en profondeur, sans qu'aucune trace ne soit apparente en surface.

Pourquoi l'exploitation doit-elle être respectueuse du sol ?

1



Source : INRA

*Tassement sur sol limoneux : ornierage peu profond
Site expérimental GESSOL d'Azerailles (54)*



Source : Yves Lefèvre / INRA

Ce cloisonnement montre ce qui se passe sur un sol limoneux (sensibilité forte) avec une teneur en humidité plus importante dans la cuvette

Conséquences du tassement

Sur la structure du sol

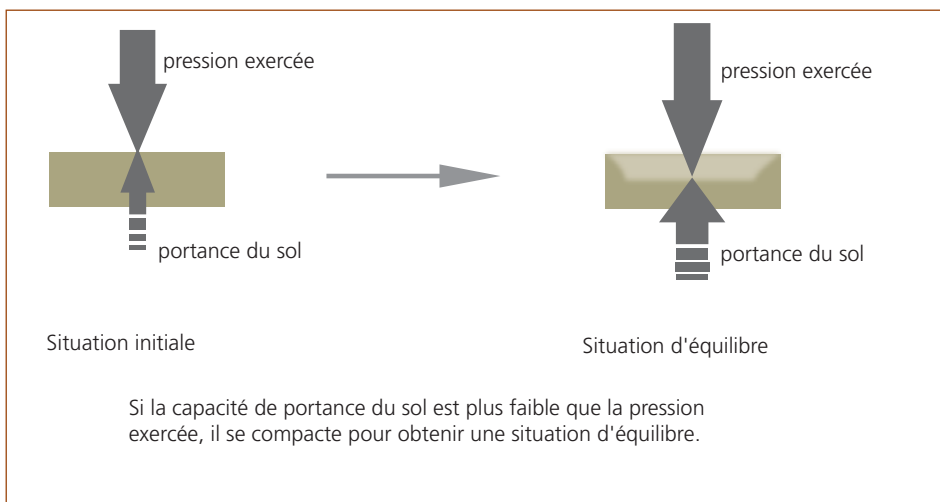
La perte de structure sous le poids des engins touche d'abord la macroporosité, c'est-à-dire les pores les plus larges du sol formés par la fissuration physique du sol (alternances gel / dégel ou humectation / dessiccation des argiles) ou l'activité biologique (vers de terre en particulier).

La perte de la macroporosité entraîne une forte réduction de la capacité de drainage du sol.

Par la suite, la contrainte porte sur la microporosité : les agrégats sont compactés et se réorganisent sur un plan de plus en plus horizontal (structure lamellaire), ce qui réduit les interstices.

Au final, le tassement provoque une réduction générale de la porosité du sol, ce qui induit :

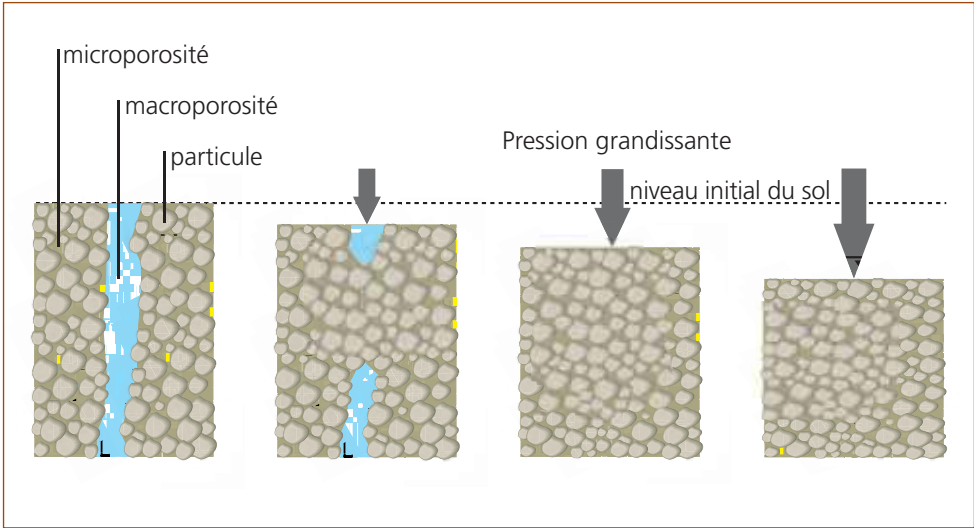
- un ralentissement de l'écoulement de l'eau ;
- une diminution de l'espace occupé par l'air ;
- des phénomènes d'engorgement et d'asphyxie plus fréquents ;
- des difficultés de pénétration des racines.



Source : M.A de Paul et M. Bailly / Forêts Wallonnes

Réaction du sol face aux contraintes supérieures à sa capacité de portance

Pourquoi l'exploitation doit-elle être respectueuse du sol ?

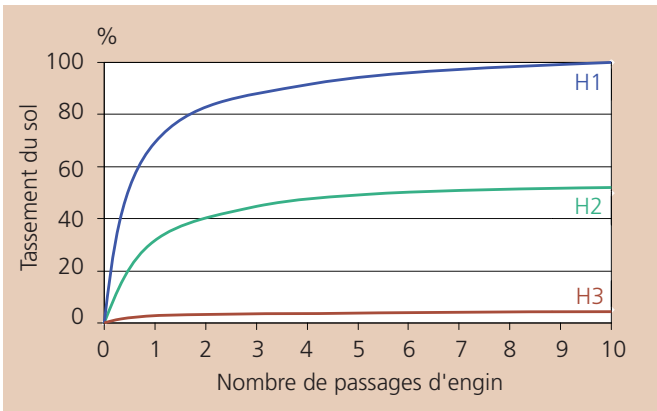


Source : M.A de Paul et M. Bailly / Forêts Wallonnes

Effet du tassement sur la macro et la microporosité d'un sol

Une idée largement répandue auprès des professionnels est qu'il vaut mieux circuler avec les engins de débardage partout sur la parcelle pour diluer les passages et éviter ainsi de créer des ornières qui donnent une mauvaise image du chantier.

Or 80 à 90 % du tassement des horizons de surface du sol a lieu entre le premier et le troisième passage d'engin (80 - 90 % de la macroporosité disparaît lors des tous premiers passages). La représentation graphique de la figure ci-dessous donne une idée de ce phénomène.



Représentation schématique du tassement du sol en fonction du nombre de passages d'engin et de l'humidité du sol (niveaux d'humidité décroissants H1, H2, H3)

Ainsi, circuler sur l'ensemble de la parcelle pour ne pas marquer le sol n'est pas une bonne technique puisque cela a pour effet de tasser le sol sur une très grande surface.

Mieux vaut quelques ornières localisées qui attirent l'œil plutôt qu'un tassement du sol généralisé et souvent invisible sur l'ensemble de la parcelle.

De plus, en circulant un peu partout, le risque d'augmenter la proportion d'arbres blessés s'accroît.

Le tassement maximal du sol dépend de son humidité : plus cette dernière est importante et plus le tassement est fort. Dans la figure ci-dessus, le niveau d'humidité H1 correspond à un sol très humide et H3 à un sol très sec.

Scalpage, orniérage ou compactage

Les déformations de la structure du sol sont classées en trois catégories principales (décrites dès 1951 et vulgarisées par C. Rotaru en 1983).

Le scalpage : déplacement et souvent mélange de matériaux suite à une contrainte appliquée majoritairement selon une direction tangentielle à la surface du sol (patinage des roues motrices, glissement latéral ou dérapage). Appelé aussi en terme mécanique *cisaillement*.

L'orniérage : creusement de la surface du sol (le matériau déplacé peut former des bourrelets) suite à des contraintes à la fois tangentielles et perpendiculaires à la surface du sol. Il en résulte un déplacement et souvent un mélange des matériaux ainsi qu'un tassement sous le passage de la roue. L'orniérage est donc la somme de trois processus : le *cisaillement*, le *fluage* qui donne naissance aux bourrelets latéraux de part et d'autre de la surface de contact et le *tassement* en fond d'ornière.

Le compactage : *tassement* excessif du sol qui correspond à une réduction de volume sans changement de masse, suite à une contrainte perpendiculaire à la surface du sol ; c'est donc la porosité qui est réduite.

Ces trois types de déformations correspondent à des réponses différentes, dépendantes de la contrainte, de l'humidité du sol lors de son application et des propriétés physiques des différents horizons concernés.

Pourquoi l'exploitation doit-elle être respectueuse du sol ?

1

Sur l'activité biologique du sol et la biodiversité

Le tassement a des conséquences négatives sur l'activité biologique des sols, l'absence d'oxygène empêchant la survie de nombreux organismes au profit notable de microorganismes producteurs de CH_4 (Méthane) et de N_2O (Oxyde nitreux).

La diminution de la faune du sol peut être préjudiciable pour les arbres puisque les processus tels que la minéralisation de la matière organique, la fragmentation et l'aération du sol sont ralentis.

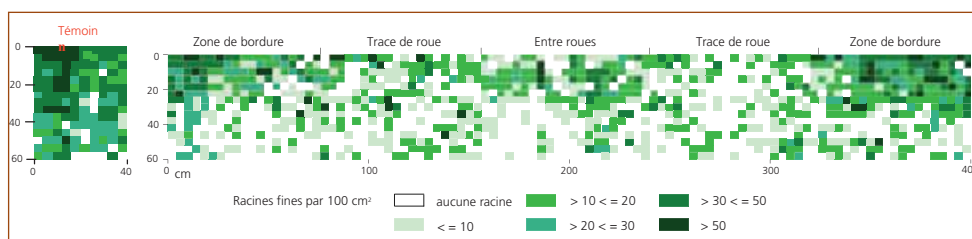
Sur le développement des racines

Outre les dégradations directes causées par les roues, les racines souffrent également de l'augmentation de la résistance du sol à la pénétration et de la perte de porosité et d'aération, voire de l'asphyxie induites par le tassement.

La figure ci-dessous illustre l'état d'un sol sur limon loessique **6 ans après** le passage d'une abatteuse puis d'un porteur. Les mesures ont été réalisées sur des carrés de 4 x 4 cm (d'après von Wilpert et Schäffer, 2006).

On remarque :

- 1° Que la prospection racinaire est affectée en profondeur
- 2° Que le tassement déborde de la stricte voie des engins. Partant de la surface des roues, la pression se répartit dans un volume plus grand que la trace de la roue ou de la chenille.



Représentation verticale du nombre de racines

Sur les peuplements

L'impact sur les racines explique en grande partie les effets négatifs sur le peuplement.

En phase de régénération

- Difficulté de levée des graines, de survie et de croissance des semis, notamment en présence d'une nappe superficielle.
- Développement d'une flore hygrophile (molinie, carex, jonc) au détriment de la croissance des semis (concurrence pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs).

Sur le peuplement adulte

- Perte de croissance voire de qualité (effets directs de blessures, risques phytosanitaires).
- Diminution de la résistance aux perturbations climatiques (vent, stress hydrique...) par dégradation des racines et augmentation des contraintes à l'enracinement.

En outre, le tassement participe au dépérissement de peuplements adultes en association avec d'autres facteurs (stress hydrique, attaques parasitaires...).

Parmi nos principales essences forestières, le **hêtre** et le **châtaignier** sont les plus sensibles aux effets du tassement (sources DSF).



Source : D. Pischedda / ONF



Source : D. Pischedda / ONF

Traces de jongs marquant le passage d'un tracteur forestier

Il vaut mieux passer 100 fois au même endroit, qu'une fois à 100 endroits différents !

Pourquoi l'exploitation doit-elle être respectueuse du sol ?

1

Pour mettre en œuvre des pratiques d'exploitation respectueuses des sols et de la forêt, il faut :

Æ Estimer avec soin la faisabilité

Æ Chapitre 2

... en fonction des conditions d'accès, des peuplements et des produits à sortir, des équipements, et de la sensibilité du sol.

Les diagnostics sont à réaliser successivement :

- à l'échelle des massifs forestiers, avec l'enjeu d'identifier les grands contextes d'exploitabilité et les mesures éventuelles à prendre pour l'améliorer (schéma de desserte, ouverture de cloisonnements, coupes à câble...);
- puis à l'échelle de la coupe.

Æ Choisir un système d'exploitation adapté

Æ Chapitre 4

A l'échelle de la coupe, deux règles essentielles sont à observer pour une exploitation respectueuse du sol :

Æ Connaître la texture et la teneur en eau du sol pour prévenir, savoir s'il est praticable


Æ Chapitre 2 et annexes 1 et 2

Æ Limiter les surfaces circulées

- Mettre en place un réseau de cloisonnements bien conçu
- Recourir à des systèmes alternatifs dans les cas les plus critiques

Æ Chapitre 3

Æ Chapitre 5

- 
-
- 1** En pratique, comment diagnostiquer la sensibilité d'un sol au tassement et à l'érosion ? **27**
-
- 2** Conseils d'exploitation par classe de sensibilité au tassement **30**



Comment diagnostiquer la sensibilité du sol ?

La faisabilité d'une coupe ou l'exploitabilité correspond à l'ensemble des conditions (nécessaires et/ou suffisantes) permettant de la réaliser en respectant un cahier des charges préalablement fixé (ex : Règlement national d'exploitation forestière en forêt publique, cahier des charges national d'exploitation forestière PEFC).

Cela revient généralement à choisir le meilleur système d'exploitation permettant de :

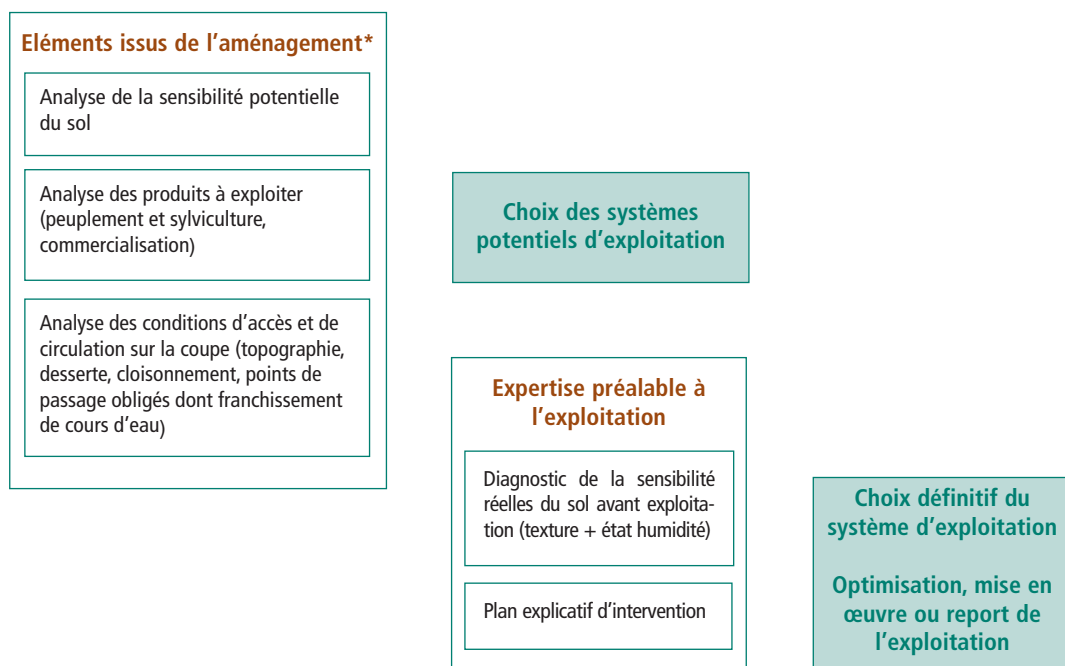
- (1) réaliser la sylviculture prévue tout en respectant le peuplement restant sur pied ;
- (2) préserver les sols, les habitats – notamment les cours d'eau et autres zones humides - et toutes les richesses culturelles ;
- (3) exécuter l'ensemble dans des conditions économiques dont les limites sont généralement prédéfinies.

Sylviculture et exploitation doivent être raisonnées de manière indissociable.

Ainsi le gestionnaire doit intégrer la mobilisation des bois le plus en amont possible dans l'élaboration de l'aménagement des forêts et lors de la programmation des coupes.



Vue d'ensemble de la réflexion globale de diagnostic



* Faute d'aménagement ou de Plan Simple de Gestion, ces éléments devront être évalués lors de la reconnaissance de coupe préalable à l'exploitation



Source : D. Pischedda / ONF

Parcelle forestière sur sol limoneux sensible

En pratique, comment diagnostiquer la sensibilité d'un sol au tassement et à l'érosion ?

Démarche d'observation

Le diagnostic de sensibilité du sol s'intéresse aux facteurs décrits au chapitre 1 : les propriétés permanentes du sol (texture, pierrosité (charge en cailloux), traces d'hydromorphie) et son état d'humidité (propriété qui est variable dans le temps).

Le protocole d'échantillonnage et l'estimation croisée de la texture et de l'état d'humidité sont précisés en annexes 1 et 2.

En voici les principes généraux.

Le diagnostic de sensibilité du sol ne doit pas se limiter à une observation de surface

Comme vu précédemment, les propriétés permanentes du sol et son humidité peuvent varier selon la profondeur : même dans le cas où l'horizon superficiel semble peu sensible, un tassement peut affecter fortement le sol sous-jacent.

Mis à part les sols très superficiels, le diagnostic doit donc être réalisé sur au moins 50 cm de profondeur.

Ce diagnostic portera sur les cloisonnements et là où ils doivent être ouverts

En effet, la vulnérabilité du sol varie dans l'espace en fonction des variations de ses propriétés permanentes, de la topographie et du nombre de passages d'engins. Pour déterminer les possibilités de circulation d'engins, il convient de s'intéresser à l'ensemble de la surface à parcourir en commençant par les zones *a priori* les plus sensibles sur les cloisonnements : sols à dominante limoneuse, bas de pente ou dépressions, places de dépôt ou entrée des cloisonnements où les passages sont les plus fréquents.

Le diagnostic final se base sur la plus forte sensibilité observée

Ainsi, sur chaque point d'observation, si plusieurs horizons de sol de sensibilités différentes sont superposés, on retiendra la plus forte sensibilité rencontrée **sur les 50 premiers centimètres** pour établir le diagnostic.

De même, si la sensibilité du sol varie spatialement sur les zones à parcourir, il convient de :

- fixer la possibilité et/ou les précautions de passage d'engins suivant la plus forte sensibilité observée ou ;
- organiser le chantier de manière à éviter la zone la plus sensible, réservée pour une période plus favorable (après un temps de ressuyage du sol) (voir Exemple 2 chapitre 3 page 55).

Diagnostic de sensibilité du sol au moment de la coupe

Il est possible de synthétiser l'état des connaissances sur la physique des sols et des liens avec l'exploitation forestière sous forme de recommandations.

Au moment de la coupe, il s'agit d'apprécier les précautions particulières à prendre, voire de suspendre la circulation des engins afin de préserver la praticabilité des cloisonnements.


Ce diagnostic est réalisé en fonction de la nature du sol (facteur statique) et de son état d'humidité voire d'engorgement (facteur dynamique)*.

Concernant l'érosion, l'exploitation doit veiller avant tout à ne pas laisser de sols nus. En particulier, sur pente, il faut protéger les cloisonnements par une couche de rémanents.

Texture	État d'humidité*			
	Sol sec sur 50 cm de profondeur	Sol frais	Sol humide	Nappe d'eau à moins de 50 cm de la surface
Sol très caillouteux (Éléments grossiers > 50%)	Non sensible	Non sensible	Non sensible	Très sensible
Sol très sableux (sable > 70%)	Non sensible	Non sensible	Sensible	Très sensible
Argile dominante	Non sensible	Sensible	Sensible	Très sensible
Limons dominant et sable limoneux	Non sensible	Sensible	Très sensible	Très sensible

 Sol non sensible au tassement

 Sol sensible = précautions nécessaires pour le passage d'engins

 Sol très sensible et impraticable pendant une période de l'année = passage d'engins impossible

* Voir l'annexe 2 pour déterminer l'humidité et la texture d'un sol

Comment diagnostiquer la sensibilité du sol ?

2

Dans le tableau qui précède, outre la classe des sols très caillouteux, les autres grands groupes de classes de texture sont repris du triangle de texture (voir Glossaire page 103).

Prévoir un système d'exploitation adapté

Pour le gestionnaire forestier, il est primordial de prévoir le système d'exploitation le mieux adapté à chaque contexte bien avant le jour d'une intervention, lors de l'établissement du document d'aménagement ou de la programmation des coupes.

Il n'est certes pas possible d'estimer à l'avance l'état d'humidité du sol. Cependant, la connaissance des propriétés intrinsèques du sol (texture, pierrosité, hydromorphie) permet *a priori* de définir différentes options d'exploitation selon les 4 grandes classes de sensibilité potentielle suivantes :

Classe de sensibilité potentielle	Conseils d'exploitation	Critères de diagnostic	Systèmes d'exploitation et précautions
Sols praticables toute l'année avec peu de précautions		<ul style="list-style-type: none"> Sol très caillouteux (éléments grossiers $\geq 50\%$) Aucune trace d'hydromorphie dans les 50 cm premiers cm Sols très sableux (sables $\geq 70\%$) 	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes d'exploitation terrestres Précaution de circulation à prévoir sur sol pentu (érosion) ou humide
Sols praticables toute l'année moyennant certaines précautions		<ul style="list-style-type: none"> Sols à texture dominante argileuse Aucune trace d'hydromorphie dans les 50 cm premiers cm 	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes d'exploitation terrestres Précautions de circulation à prévoir en période de sols humides ou frais (notamment en hiver)
Sols très sensibles et impraticables une partie de l'année		<ul style="list-style-type: none"> Sols à texture dominante limoneuse ou sablo-limoneuse et/ou Présence d'un engorgement temporaire, traces d'hydromorphie dans les 50 premiers cm 	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes d'exploitation terrestres si le sol est assez sec pendant une période suffisante de l'année Câble aérien ou petite mécanisation dans les autres périodes
Sols très sensibles et impraticables toute l'année		<ul style="list-style-type: none"> Sols tourbeux ou à engorgement permanent, traces d'hydromorphie dans les 50 premiers cm 	<ul style="list-style-type: none"> Câble aérien ou petite mécanisation

Conseils d'exploitation par classe de sensibilité au tassement

Situation de sol non sensible au tassement

- Implanter systématiquement des cloisonnements (voir chapitre 3).
- Débusquer et débarder les bois exclusivement depuis ceux-ci.
- En cas de pente, prévoir de laisser des rémanents lors du dernier passage sur les cloisonnements pour limiter l'érosion.

NB : Limiter la circulation d'engins à des cloisonnements sur des sols peu sensibles au tassement peut sembler une précaution inutile. Cependant la sensibilité d'un sol évolue dans le temps en fonction des conditions d'humidité : un sol peu sensible peut devenir sensible si son humidité augmente. De plus, le passage d'engins peut causer d'autres dégâts (blessures aux arbres, perturbation voire décapage des horizons de surface) qu'il convient également de limiter.

Organiser la circulation des engins sur la parcelle reste le meilleur moyen de protéger le sol et le peuplement à long terme.

Situation de sol sensible au tassement et praticable avec précaution

- Implanter systématiquement des cloisonnements (voir chapitre 3).
- Débusquer et débarder les bois exclusivement depuis ceux-ci.
- Utiliser les cloisonnements avec précautions (pour préserver leur praticabilité) :
 - Protéger les cloisonnements par une couche de rémanents d'une épaisseur minimale de 30 - 40 cm. NB : la récolte des menus bois n'est alors plus possible.
 - Utiliser des tracks à tuiles larges et des pneus larges (voir chapitre 4 : Systèmes d'exploitation, paragraphe sur les accessoires).
 - Réduire la charge des engins (de moitié, par exemple) ou employer des matériels de moyenne capacité.

Situation de sol très sensible au tassement

- Aucune exploitation conventionnelle terrestre possible, même en circulant sur les cloisonnements **tant que le sol est dans cet état d'humidité** :
 - soit attendre des conditions d'humidité du sol favorables ;
 - soit prévoir de faire appel à des systèmes aériens ou à la petite mécanisation.
- Dans le cas des sols tourbeux ou de sols à nappe permanente, recourir aux systèmes alternatifs (aériens, petite mécanisation).

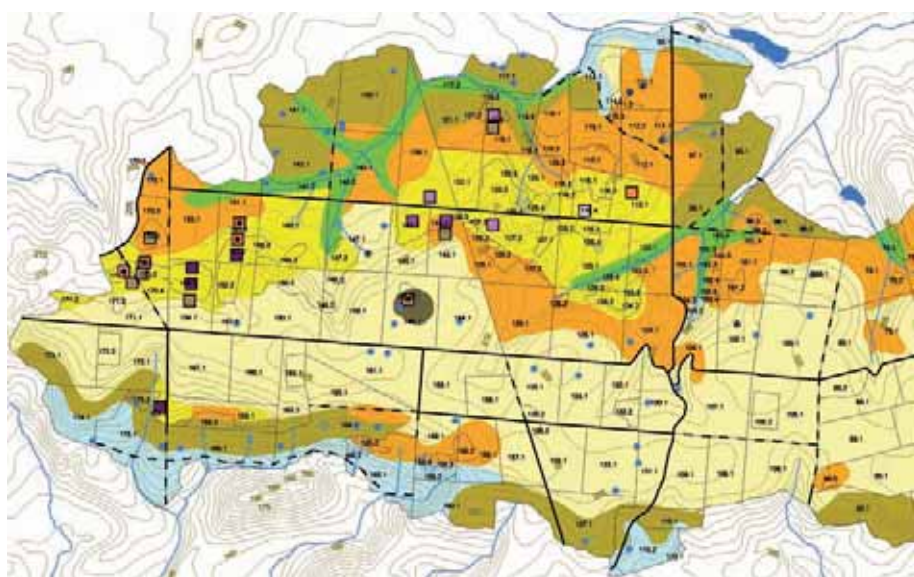
Pour la petite mécanisation, veiller à ce que les produits à débarder s'y prêtent (voir Chapitre 5).

Comment diagnostiquer la sensibilité du sol ?

2

Il est possible de dresser une carte de sensibilité potentielle des sols en se basant éventuellement sur une carte des sols existante (voir ci-dessous) ou une carte des stations forestières.

Ce type de carte permet d'optimiser l'organisation de l'exploitation dans l'espace et dans le temps, en réservant pour les périodes humides des parcelles peu sensibles par tout temps (sols très sableux ou très caillouteux non hydromorphes) et en focalisant l'effort d'exploitation sur les autres sols en période sèche.



□ Unité de peuplement

∧ Courbe de niveau (équidistance 5m)

● Mare ou étang
● Source

▨ Zone humide

— Route revêtue


- - - Route empierrée

— Ruisseau permanent

- - - Ruisseau temporaire

SOLS (Aménagement 1983 - 2007)

- 1 Sol brun acide à brun lessivé. Texture équilibrée. Houx dans les vieux peuplements.
- 2 Podzol sur sable à mor épais (>5cm). Argile à 30-60 cm de profondeur (parfois plus). Callune - fougère aigle.
- 3 Sol ocre podzolique sur sables argileux à mor-moder. Canche flexueuse - myrtille.
- 4 Sol brun. Texture équilibrée. Asperule - ronce - oxalis.
- 1a Sur le plateau, par îlot. Sol lessivé à micropodzolisation de surface, par manque d'argiles. Fougère aigle.
- 1b Dans la cuvette perchée. Pseudogley superficiel ou même gley sur argiles vertes. Molinie - jonc.
- 4a Dans les fonds de vallée. Pseudogley superficiel ou même gley à toute épaisse. Sphaigne.
- 4b Sur substrat calcaire, sol brun à mull eutrophe. Lierre - aubépine - euphorbe.



Concernant les sols très sensibles et impraticables une partie de l'année, il reste toutefois à déterminer si l'on peut prévoir un système d'exploitation terrestre ou non.

En effet, pour ces sols, il n'est pas nécessairement indispensable de faire appel à un système aérien dans les cas suivants :

- sol suffisamment ressuyé ou gelé pour être praticable par des engins terrestres pendant une période suffisamment longue dans l'année ;
- surface concernée limitée et pouvant être contournée / évitée par l'installation de cloisonnement *ad hoc* (voir Exemple 2 chapitre 3 page 55).

Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode générale pour déterminer la durée pendant laquelle les sols de cette classe sont engorgés ou trop humides pour supporter le passage d'engins terrestres.

Toutefois, la présence de traces d'hydromorphie liées à une nappe temporaire :

- permet de diagnostiquer un déficit de drainage du sol et l'existence d'une nappe d'eau une partie de l'année ;
- mais ne permet pas de préjuger de la durée d'engorgement.

En outre, la durée de la période impraticable peut être très variable d'un sol à l'autre. Certains sols hydromorphes peuvent ainsi présenter une nappe d'eau uniquement pendant les mois d'hiver et de début du printemps et d'autres être engorgés chaque année pendant 9 ou 10 mois. Cela dépend du régime des pluies, de la topographie, de la capacité de drainage du sol et ne peut donc s'apprécier **que sur la base de connaissances précises du terrain.**

Le système de circulation sur la parcelle et le système d'exploitation des bois sont indissociables et pourront tenir compte de la sensibilité du sol au tassement s'ils sont envisagés lors du même diagnostic.

Plusieurs systèmes d'exploitation existent (voir chapitre 4) pour réaliser au mieux les coupes dans toutes les situations de sensibilité :

- **Les systèmes terrestres**, utilisant des machines qui roulent à pneus, à chenilles ou hybride (type pelle araignée, Highlander). Compte tenu des emprises qu'elles occupent et des pressions exercées sur le sol, ces machines ne doivent pas circuler sur toute la surface du peuplement. Il convient de les limiter à un système de circulation matérialisé et pérenne, les **cloisonnements** (voir chapitre 3).

Les systèmes terrestres légers, utilisant la **traction animale** ou la **petite mécanisation** peuvent, dans certains cas, répondre aux attentes car peu impactants pour le sol (voir chapitre 5).

- **Les systèmes aériens**, utilisant un **câble téléphérique** transportant les produits au-dessus du sol (des fossés, des cours d'eau...) ou les traînant (voir Exemple 2 chapitre 3 page 55). Dans ce cas, le système de circulation et le système d'exploitation sont identiques, les lignes de câble fonctionnant comme des cloisonnements.

Ainsi, dans la grande majorité des cas, l'installation de cloisonnements d'exploitation est la meilleure réponse pour gérer la circulation des machines en forêt et préserver le sol.

Le chapitre suivant donne les principaux conseils pratiques pour leur installation.

1	Le sens des cloisonnements	36
2	La largeur des cloisonnements	38
3	Les protections à joindre aux cloisonnements	45
4	Prise en compte du paysage	47
5	Mode de matérialisation des cloisonnements	51
6	Implantation du système de cloisonnement	51



Les cloisonnements

Les cloisonnements sont une composante des systèmes d'exploitation. Ils font donc partie intégrante de la sylviculture et leur implantation doit, à ce titre, être traitée dans les outils d'aide à la décision en matière sylvicole (*guides de sylviculture*, par exemple). Ils doivent aussi intégrer les contraintes de circulation et de manœuvre des engins forestiers afin de limiter les impacts tout en améliorant la performance économique du système.

- Les cloisonnements répondent à deux objectifs partiellement compatibles :
 - minimiser la surface circulée par les engins,
 - optimiser le travail d'abattage ;
- Les engins forestiers doivent circuler **exclusivement** sur les cloisonnements ;

- **Les cloisonnements ne sont pas praticables par tous les temps**

Lorsqu'ils sont installés sur des sols sensibles et que la période est très humide, il est nécessaire de les protéger au même titre que le sol du reste de la parcelle.

Dans l'ordre chronologique, pour organiser et utiliser un cloisonnement, les questions sont :

Dans quel(s) sens ?

De quelle largeur ?

A quel pas ?

Comment protéger les zones humides et les cours d'eau ?
 les peuplements ?
 le paysage ?

Enfin, avant et au cours de chaque opération d'exploitation :
 le cloisonnement est-il et reste-t-il praticable ?

Le sens des cloisonnements

Le sens des cloisonnements en terrain plat ou faiblement pentu (pente < 10 %)

Les cloisonnements seront dirigés en prenant en compte à la fois le réseau de desserte et le réseau hydrographique :

Le réseau de desserte

Les pistes et chemins existants doivent être une base logique pour installer les cloisonnements. Il est essentiel d'utiliser les pistes existantes en priorité pour ne pas affecter une surface supplémentaire.

Les cloisonnements sont à diriger vers les routes en faisant en sorte que chacun soit le plus court possible. Pour faciliter la sortie des machines sur le réseau de desserte, sans causer de dommage aux lisières, il faut **éviter de les faire aboutir perpendiculairement aux pistes**. Sinon l'intervenant doit faire plusieurs manœuvres pour sortir les grumes sans frotter les arbres de bordure.

Un angle de 30 à 45° par rapport à la piste est recommandé (en arête de poisson), en tenant compte de l'emplacement de la place de dépôt la plus proche (pour éviter les manœuvres d'engins ou la reprise de bois très pénalisantes).

Si un fossé bordier drainant la route est à franchir, pour ne pas le faire à chaque sortie de cloisonnement, une « tournière » parallèle en partie à ce fossé et à distance d'un demi pas de cloisonnement est à mettre en place. Le fossé sera franchi à l'aide d'un équipement simple mais pérenne (passage busé).

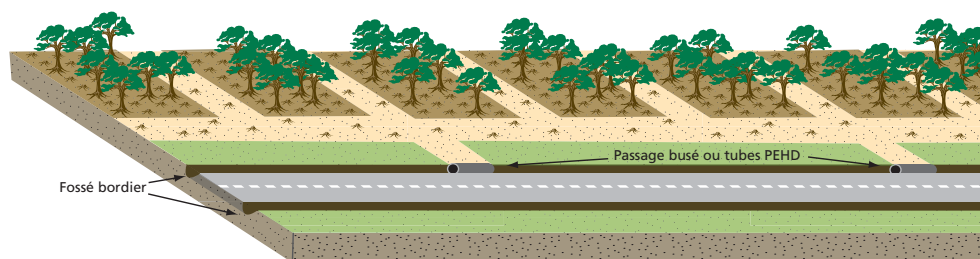


Schéma d'une tournière avec utilisation de passage busé ou de tubes PEHD

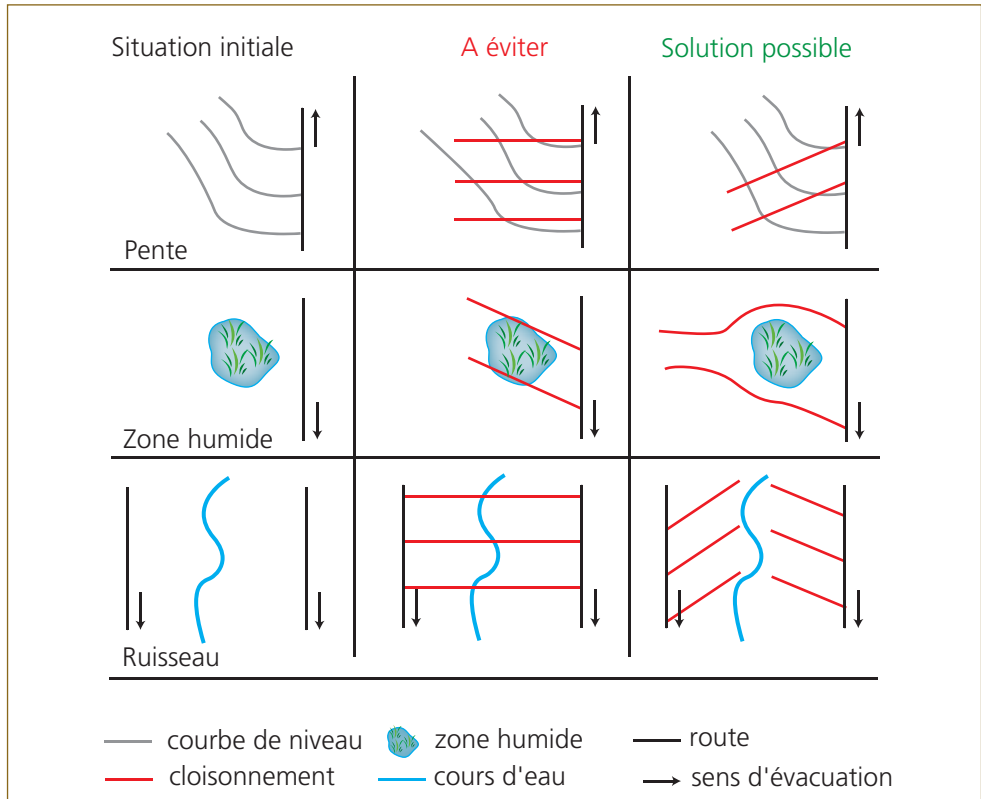
Le réseau hydrographique

Le réseau de cloisonnement ne doit pas être un obstacle à l'écoulement superficiel de l'eau.

Il faut absolument installer les **cloisonnements dans le sens de l'écoulement des eaux**. Bien souvent, dans les zones humides/mouilleuses, la parcelle a – ou a eu – des fossés internes. Les cloisonnements doivent leur être parallèles et éloignés d'une dizaine de mètres.

Les cloisonnements doivent être les plus rectilignes possibles pour éviter les blessures aux arbres de part et d'autre. Toutefois, ils pourront être légèrement sinueux afin d'éviter des zones humides, des mares, des arbres ou sites d'espèces remarquables ou encore des sites archéologiques... Dans ces cas, le tracé des cloisonnements anticipe ces obstacles pour les contourner largement et éviter les virages trop serrés.

Le bon sens doit précéder tout esprit de géométrie (voir figure ci-dessous).



Exemples à suivre ou à éviter dans diverses situations

Le sens des cloisonnements sur les versants

Pour une pente de 10 à 45 % où l'on admet le passage de machines, les cloisonnements doivent être installés dans le **sens de la plus grande pente** pour éviter tout renversement des engins et frottement contre les arbres de part et d'autre des cloisonnements. Mais leur présence peut entraîner une érosion. Il faut alors y pallier en veillant à laisser des rémanents sur les cloisonnements et/ou en installant régulièrement des passages d'eau permettant au matériau entraîné par l'eau d'atterrir dans des petits sites de décantation hors du cloisonnement.

Au delà d'une pente de 45 %, l'utilisation d'engins à roues ou chenilles est déconseillée. Il faut alors utiliser un câble téléphérique ou sortir les produits au treuil, si la longueur du versant est faible.



Bassins de décantation pour protéger la rivière en contrebas

Source : D. Pischedda / ONF

Cloisonnements sylvicoles et cloisonnements d'exploitation

Il faut organiser les cloisonnements sylvicoles en suivant les mêmes principes pour deux raisons essentielles :

- des engins d'entretien circulent dans les cloisonnements sylvicoles, tracteurs portant des gyrobroyeurs le plus souvent, et la fréquence des passages est assez élevée (tous les 2 à 3 ans). Le risque de tassement est ainsi non négligeable ;
- une partie des cloisonnements peut servir par la suite pour l'exploitation forestière.

Les cloisonnements sylvicoles et les cloisonnements d'exploitation sont parallèles.

La largeur des cloisonnements

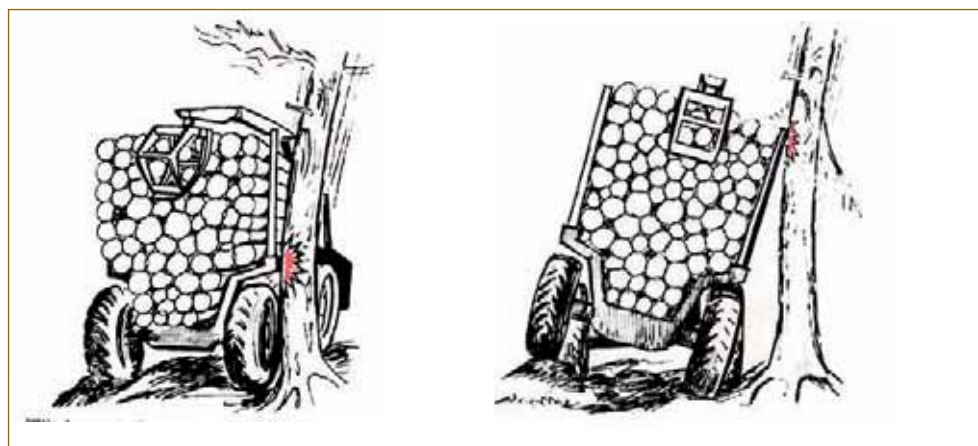
La largeur des cloisonnements doit permettre aux engins de travailler, sans risquer de blesser les arbres avoisinants. Elle ne doit pas être trop importante, afin de limiter au strict minimum la surface circulée.

Lors de la création des cloisonnements dans un peuplement, les souches des arbres extraits de ces voies doivent être parfaitement arasées.

Avec une monte de pneus de 600 mm de large, les abatteuses ont une voie hors tout de 2,3 à 3,0 m, les porteurs de 2,7 à un peu plus de 3,0 m.

Pour passer en sécurité au niveau des arbres de bordures et, éventuellement avec des pneus plus larges, une **largeur de 4 m est nécessaire et suffisante**.

- l'impact du tassement déborde légèrement de part et d'autre de la voie des machines (voir chapitre 4, figure p 67) ;
- Il n'est pas justifié de faire de la place pour permettre le passage de machines plus larges que celles d'aujourd'hui.



Source : Terrängmaskinen

Risques de blessures aux arbres en cas de largeur de cloisonnement insuffisante

Afin d'offrir une place suffisante aux engins, tout en limitant la surface circulée, la largeur des cloisonnements est fixée à 4 mètres.

Dans le cas particulier des plantations à lignes espacées de 2,5 à 3 m, l'enlèvement d'une ligne conduit à des emprises supérieures à 4 m.

Le pas de cloisonnement

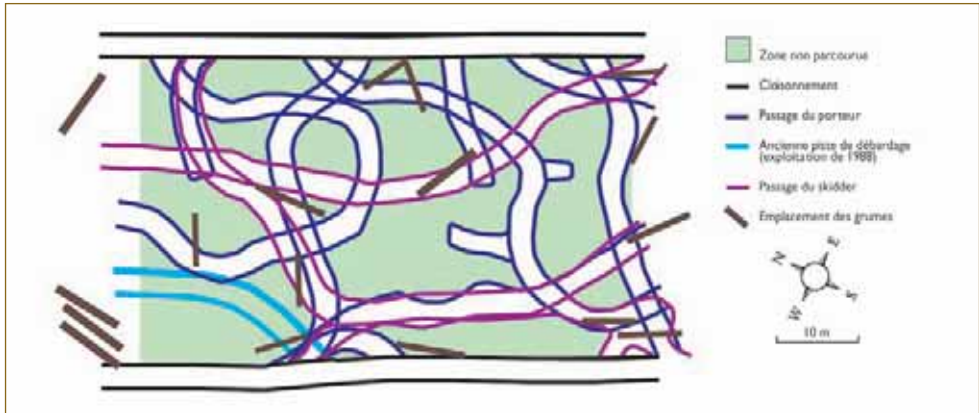
Un pas de cloisonnement est la distance moyenne entre deux axes de cloisonnements.

Compte tenu des impacts potentiels sur le sol évoqués au chapitre 1, consacrer 20 à 25 % de la surface des parcelles aux cloisonnements et donc à la circulation des engins semble une limite à ne pas dépasser. Il faut trouver un compromis entre l'accessibilité des bois depuis ces cloisonnements et la surface consacrée à la circulation des engins.

Les machines ont généralement une largeur de 2,5 à 3 m. Cependant, en quelques passages, elles auront circulé sur la totalité de l'espace du cloisonnement de 4 m de large.

Pas du cloisonnement (largeur de 4m)	Emprise des cloisonnements	Commentaire
12 m	33 %	Ecartement trop serré
16 m	25 %	Recommandé
18 m	22 %	Recommandé
20 m	20 %	Recommandé
24 m	16,7 %	Recommandé
32 m	12,5%	Possible Cloisonnements d'exploitation multiples du pas initial de 8 m des cloisonnements sylvicoles
36 m	11 %	Possible Cloisonnements d'exploitation multiples du pas initial de 6 m des cloisonnements sylvicoles
50 m	8 %	Ecartement trop large
100 m	4%	Ecartement trop large

Avec des cloisonnements trop espacés (dont le pas dépasse les 40 m) ou inexistant, des observations de terrain montrent que les engins ne peuvent rester sur les cloisonnements pour débarder l'ensemble des bois et ont tendance à circuler sur une très grande surface de la parcelle, de l'ordre de 30 à 60 % (Cacot, 2001)



Source : E. Cacot / FCBA

Carte établie après une éclaircie réalisée par un porteur et un débusqueur dans une futaie régulière de chêne. La surface totale cheminée par les deux engins, en dehors des cloisonnements existants, représente près de la moitié de la parcelle

La circulation des engins de débardage est limitée aux cloisonnements*. Aussi, il est nécessaire que le marquage des arbres à enlever en éclaircie soit visible depuis les cloisonnements.

Choix du pas de cloisonnement

Les cloisonnements d'exploitation sont à considérer comme une **infrastructure pérenne** et doivent satisfaire les besoins de vidange des bois **pendant toute la vie du peuplement et au-delà.**

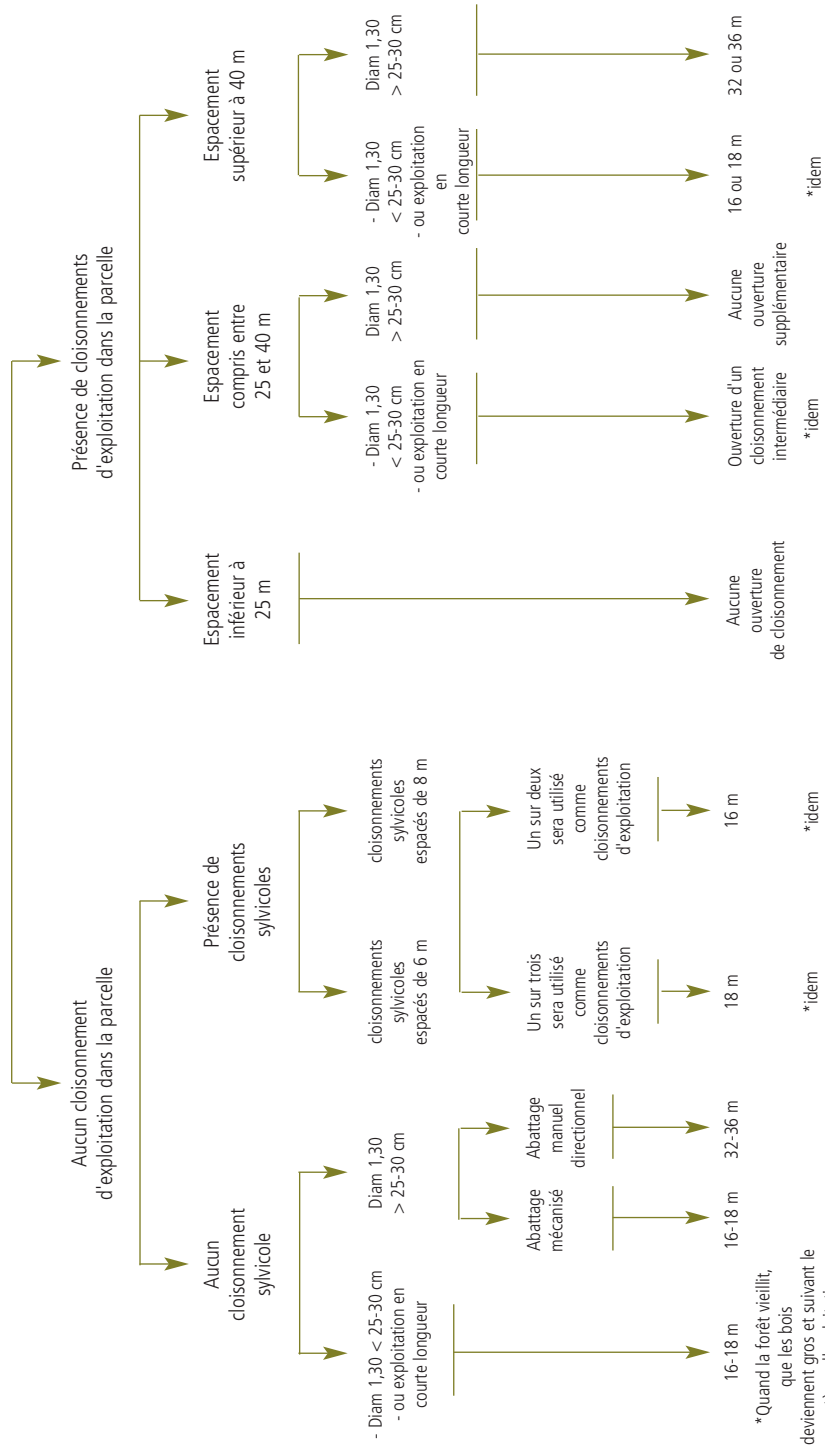
Pour ce motif, une méthode globale est proposée, incluant les cloisonnements sylvicoles et les évolutions d'utilisation des cloisonnements d'exploitation suivant la grosseur des bois et / ou le système d'exploitation.

En effet, certains broyeurs qui circulent sur les cloisonnements sylvicoles ont une masse non négligeable et donc un impact sur le sol. De plus, avec l'utilisation d'un porteur pour sortir des billons ou des petites grumes, la portée utile de la grue de chargement est essentielle. Avec des débusqueurs et un abattage directionnel, les cloisonnements peuvent par contre être plus espacés.

En conséquence, en respectant un pas de cloisonnement d'un multiple de n , n étant compris entre 6 et 10 m, il est plus facile de conserver un cloisonnement sur deux ou sur trois lorsque le peuplement sera devenu adulte et ceci sans créer trop de gêne lors des opérations d'exploitation successives.

*voir Règlement national d'exploitation forestière de l'ONF

Diagnostic pour le choix de l'espacement des cloisonnements d'exploitation



* Quand la forêt vieillit, que les bois deviennent gros et suivant le système d'exploitation, seulement un cloisonnement sur deux pourra être utilisé

Ainsi, lors de l'analyse préalable à l'installation d'un réseau de cloisonnements, deux grands cas de figure se présentent en fonction de l'existence ou non de cloisonnements dans la parcelle :

Absence de cloisonnement d'exploitation

- Il n'existe aucun cloisonnement (ni sylvicole, ni d'exploitation).

Le réseau de cloisonnements d'exploitation à ouvrir doit être intégré, après une coupe finale, dans le réseau des cloisonnements sylvicoles à mettre en place.

Il faut donc respecter un multiple du futur pas des cloisonnements sylvicoles, ici 6 ou 8 m.

- Pour les bois exploités en courte longueur (pour un diamètre moyen à 1,30 m < 25 à 30 cm) donc une exploitation potentiellement mécanisable, les billons doivent être à portée de grue des porteurs,

⇒ soit un pas de **16 ou 18 m**

NB : en cas de futaie irrégulière ou jardinée, ce pas de 16 ou 18 m est choisi pour pouvoir débarder toutes les catégories de bois depuis les cloisonnements.

- Pour les bois plutôt exploités en grande longueur ou par une méthode d'exploitation mixte (bois longs + bois courts) (diamètre 1,30 m > 25 à 30 cm), l'abattage manuel directionnel permet de disposer les billons façonnés et les houppiers au plus près des cloisonnement et en tenant compte de la hauteur des arbres :

⇒ un pas de cloisonnement de **32 ou 36 m** est à privilégier.

⇒ Si le bûcheronnage est mécanisé, il faut rester sur un pas de **16 à 18 m**.

NB : Les cloisonnements peuvent être un peu plus espacés mais alors il faudra admettre que l'abatteuse pénètre en arêtes de poisson dans les interbandes et ramène systématiquement les bois façonnés au bord des cloisonnements. De cette façon, les engins de débardage, de loin les plus dommageables pour les sols du fait de leur poids en charge, ne quitteront pas les cloisonnements.

- Il existe cependant des cloisonnements sylvicoles avec un pas de 6 ou 8 m (ex : jeune peuplement passant en première éclaircie).

Dans ce cas, un cloisonnement sylvicole sur trois ou sur deux est à utiliser comme cloisonnement d'exploitation

⇒ soit un pas de **18 ou 16 m** respectivement.

Présence de cloisonnements d'exploitation

- L'espacement des cloisonnements en place est inférieur à 25 m.
 - ⇒ Il n'y a pas d'autres intervention à réaliser
- L'espacement est compris entre 25 et 40 m.
 - Les bois font moins de 25 cm de diamètre.
 - ⇒ Il sera donc nécessaire d'ouvrir des cloisonnements intermédiaires à mi distance (sauf si l'usage de la petite mécanisation est possible. Voir chapitre 5)
 - Les bois font plus de 25 cm de diamètre.
 - ⇒ Il n'est pas nécessaire d'ouvrir des cloisonnements supplémentaires
- L'espacement est plus large (+ de 40 m).
 - Il faudra ré-ouvrir des cloisonnements intermédiaires selon la taille des bois à récolter
 - ⇒ **16 ou 18 m** pour des bois de moins de 25 cm de diamètre
 - ⇒ **32 ou 36 m** pour des bois de plus de 25 cm de diamètre quitte à avoir une dernière inter-bande un peu moins ou un peu plus large entre les cloisonnements existants.

Dans les coupes où il y a des **grumes et des billons façonnés**, il faut alors se baser sur **la contrainte maximale d'accessibilité** donc raisonner pour les billons et le porteur.

Ces recommandations présupposent un abattage directionnel vers les cloisonnements pour faciliter la vidange des bois.

Augmenter le pas de cloisonnement au-delà de ces recommandations nécessitent, dans la bande qui n'est pas accessible aux grues des machines forestières :

- soit de ne pas récolter / éclaircir les bois ;
- soit d'utiliser un système de vidange mixte avec présence d'un bucheron manuel (voir chapitre 5 page 84) ;

sinon les engins risquent de circuler entre les cloisonnements.

Les protections à joindre aux cloisonnements

Protection du sol par la pose des rémanents d'exploitation

La pose de rémanents sur le sol est une bonne pratique pour améliorer la praticabilité des cloisonnements (et donc pour les protéger) ; elle est facile à mettre en œuvre si le système d'exploitation comprend une abatteuse, mais assez compliquée dans le cas de coupes de feuillus à forts houppiers.

La dispersion au sol des branches de résineux crée une bonne couverture du sol, répartissant les pressions exercées. La branchaison des feuillus est plus hétérogène, et permet moins la réalisation d'un tapis régulier, tout en augmentant les risques de poinçonnement du sol et les difficultés de circulation des engins. Ces risques sont levés en utilisant des rémanents suffisamment fins (7-8 cm).

Zones à renforcer de façon préventive (bas de pente, approches de fossé, ...).

Lorsque les cloisonnements sont jugés praticables sur l'essentiel de leurs longueurs, il est cependant nécessaire de protéger préventivement les parties du réseau les plus circulés par des rémanents.

La pose des rémanents est assimilable à la constitution d'une chaussée. On met alors une couche de rémanents aussi épaisse que possible sur toute la largeur du cloisonnement (au minimum de 30-40 cm d'épaisseur pour commencer à avoir un effet protecteur jusqu'à une épaisseur de 1 m pour une circulation correcte des engins) constitué surtout de rémanents de petit diamètre pour éviter le poinçonnement du sol.

Le chantier est optimisé par un abattage directionnel vers le cloisonnement, de manière à y démanteler directement les houppiers (disposition en épis des branchages).



Source : S. Ruffieux / ONF

Porteur circulant sur un cloisonnement protégé avec des rémanents feuillus

Pour éviter les problèmes de poinçonnement, il convient de poser correctement les rémanents sur toute la surface des cloisonnements, et pas seulement sur les bandes de roulement. Mettre le plus possible de branches dessous.

Protection des tiges en sortie de cloisonnements

En sortie de cloisonnements, des arbres peuvent être très utilement protégés par des systèmes amovibles simples (manchons de protection) ou par des souches laissées hautes.



Le manchon de protection permet aux grumes débardées de toucher un arbre sur pied sans laisser de traces, c'est-à-dire sans le blesser



La butée de renvoi, en plus de protéger le tronc de l'arbre sur pied, protège également les racines sur un rayon de 40 cm

Source : J.-P. Deruelles / ONF

Une butée de renvoi ou des souches laissées hautes sont d'excellents moyens **préventifs** de protection des tiges qui risquent d'être blessées lorsque les engins vont avoir à tourner. Les porteurs dont les boggies arrière suivent la trace des boggies avant sont aussi efficaces.

Ces accessoires sont également très utiles lorsque, sur un trajet, il faut éviter un arbre remarquable.



Source : C. Apffel / ONF

Souches hautes en sortie de cloisonnement

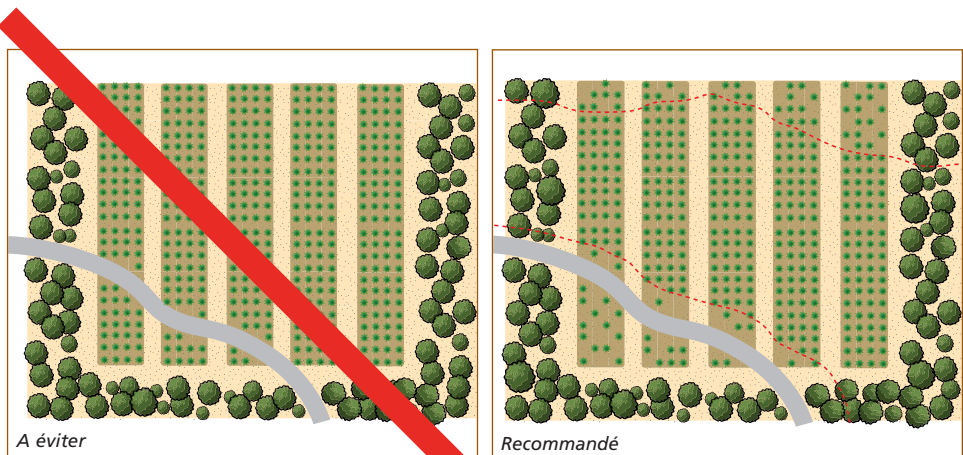
Prise en compte du paysage

Perception rapprochée

Pour que des cloisonnements soient les plus discrets possibles :

- Il ne faut pas tenter de les camoufler par des écrans hermétiques.
- Pour tourner à l'intérieur du peuplement et rejoindre, alors, un itinéraire perpendiculaire aux cloisonnements, les machines ont besoin de place, vont abîmer les arbres en bordure et, surtout, rouler dans un sens qui n'est pas le bon, en traversant par exemple des fossés.
- Il suffit pour que le regard s'arrête au premier plan, de réaliser une intervention très forte. La géométrie des cloisonnements est alors noyée dans le flou ainsi créé.

Il est souvent intéressant de les élargir à leur extrémité afin de faciliter les manœuvres des machines, sans toutefois aller jusqu'à la forme d'un delta.



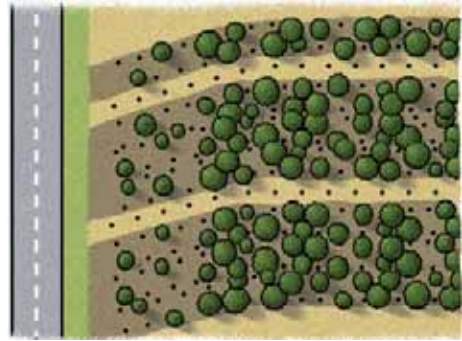
Vue de haut

Source : J. Montagne (modifié) / ONF

Les impacts visuels peuvent être réduits par des mesures simples



La présence d'une bande boisée perpendiculaire aux cloisonnements permet d'atténuer la perception depuis la route ou un chemin



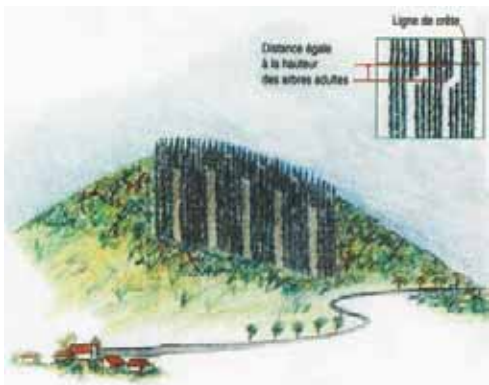
Un cloisonnement courbé à la sortie n'est pas visible dans son ensemble depuis son point de départ

Source : J. Montagne (modifié) / ONF

Perception éloignée



Le décalage des couloirs de deux lignes, avant d'atteindre la crête, supprime l'effet de créneau



Source : AFOCEL

En perception éloignée ou extérieure à la forêt, les effets de créneau sont à éviter.



Exemple d'effet de créneau

Source : C. Gernigon / ONF

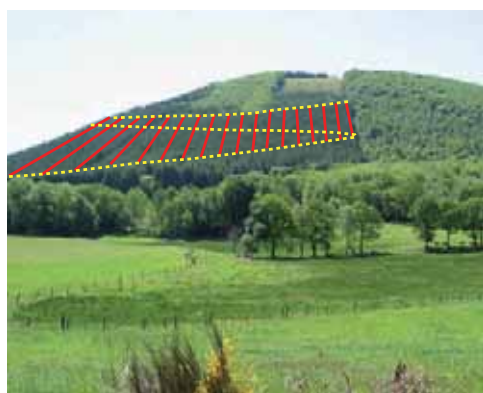
De même, une première éclaircie mécanisée s'accompagne généralement de la mise en place d'un cloisonnement systématique. Les lignes créées constituent un apport de symétrie selon la plus grande pente, entrant parfois en conflit avec l'organisation générale du paysage selon des lignes globalement horizontales.



Source : C. Gernigon / ONF

Exemple de lignes symétriques suite à des cloisonnements systématiques

Sur un versant exposé aux regards, un décalage des cloisonnements peut également être réalisé lors de la traversée des pistes, ou comme on le fait pour éviter un obstacle (blocs rocheux épars).



Source : C. Gernigon / ONF

Le décalage des lignes de cloisonnement au passage de la route forestière (en pointillée) atténue la perception des tracés linéaires (verticaux et horizontaux)

Cohérence des plans de circulation

Dans les espaces fréquentés par le public, en forêt périurbaine entre autres, il est recommandé, lors de la réflexion de mise en place d'un réseau de cloisonnement, de ne pas oublier d'envisager la cohabitation des différents usages et regards sur la forêt.

Deux plans de circulation peuvent être élaborés conjointement par le gestionnaire :

- l'un pour l'exploitation forestière ;
- l'autre pour l'accueil du public.

Leur comparaison met en évidence les lieux où un contact du public avec les engins ou les dépôts de bois est prévisible.

Diverses mesures sont alors ajustées pour limiter les espaces de contact en améliorant les aspect de sécurité et en limitant les conflits d'usage.

- Dépôts de bois temporaires aménagés en retrait des principaux axes de circulation (chemin de randonnée, routes ouvertes au public) et des éléments emblématiques de patrimoine, pour éviter la manœuvre des engins au contact des itinéraires ouverts au public ;
- Exploitation limitée en période de forte fréquentation, fermeture temporaire de certains chemins durant la période d'exploitation ;
- Limitation de la durée de stockage des bois en forêt d'accueil du public. Le dépôt de bois sur les aires d'accueil du public est à proscrire, sauf cas de force majeure ;
- Remise en état rapide de la coupe après la sortie des bois.

Mode de matérialisation des cloisonnements

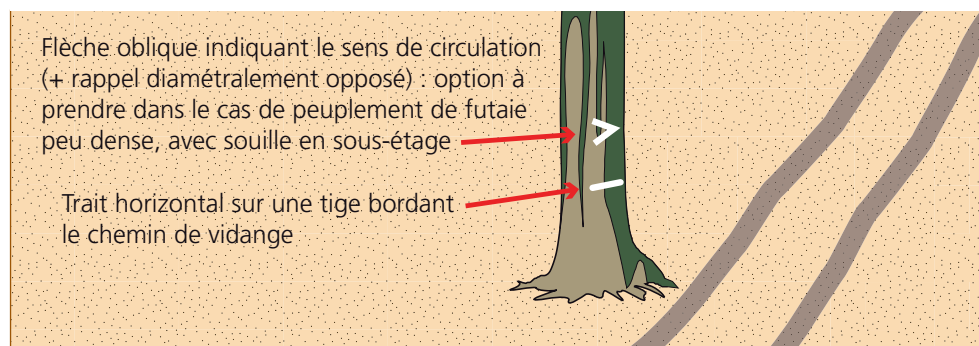
L'emplacement des cloisonnements reste bien repérable dans de nombreux systèmes sylvicoles : futaies régulières plantées ou naturelles exploitées ainsi dès les premières interventions. Mais dans les taillis-sous-futaie ou lors des coupes successives de régénération, leur **matérialisation à la peinture longue durée** devient nécessaire pour guider la circulation des engins.

Pour les cloisonnements d'entre-axe inférieur à 30 m, il est recommandé d'utiliser la couleur blanche dès que l'espacement entre tiges devient très supérieur aux 4 m de largeur du cloisonnement ceci afin d'éviter que l'engin ne les croise inopinément.



Source : D. Pischedda / ONF

Exemple de marquage de cloisonnement



Implantation du système de cloisonnement

- Diagnostic terrain pour raisonner le sens des cloisonnements, leur pas, identifier les zones sensibles, ...
- Matérialisation à l'aide d'une boussole ou d'un GPS – à la peinture et mise au point du **plan explicatif d'intervention**.
- Création au gyrobroyeur si le parterre de la coupe est très sale et uniquement par sol très sec.

Le temps à passer pour l'implantation du système de cloisonnement est très variable, dépendant de la pénétrabilité de la parcelle, de l'origine du peuplement (plantation), du pas des cloisonnements à installer, de la complexité du dispositif à adopter...

Pour une parcelle moyenne de 10 ha, il faut prévoir environ une journée de travail.

Pour rappel :

Un **plan explicatif d'intervention** peut être annexé à la fiche de visite préalable à la coupe avec l'exploitant ou l'entrepreneur, en s'appuyant par exemple sur l'utilisation des outils informatique en provenance de Systèmes d'Informations Géographiques ou de la plaquette « Laissez une bonne impression » (disponible sur les sites internet (SIG) du FCBA et intranet de l'ONF).

Les machines de bûcheronnage pouvant être équipées en option de GPS, un positionnement SIG des cloisonnements, peut à terme être réalisé et constituer une aide utile pour retrouver facilement les cloisonnements. Dans ce cas, les coordonnées sont mentionnées sur le plan explicatif d'intervention. La précision sous couvert reste toutefois à améliorer.



Source : D. Pischédra / ONF

Cloisonnement après une coupe de régénération

En résumé

Le sens : celui de l'écoulement des eaux en évitant au mieux toutes les zones humides (en tenant compte de l'emplacement de la place de dépôt la plus proche)

L'espacement : entre 16 et 36 m

La largeur : 4 m

Les protections de toutes natures : manchons, butées de renvoi, utilisation des rémanents, et tracks sur les boggies des porteurs

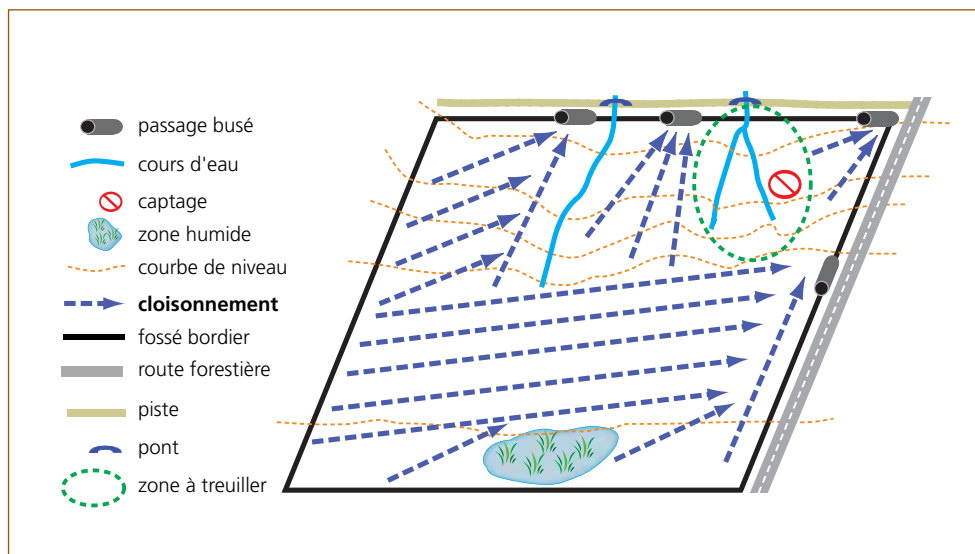
Le réseau de cloisonnement est une installation pérenne.

Phase	Objectif	Descripteurs	Aide à la décision	Conclusions
État des lieux	Classer les réseaux existants en particulier les traces des parcours implantés sans respecter un schéma d'ensemble	Relevé de leurs caractéristiques (largeur, pente...)		Les réseaux existants sont classés selon leurs caractéristiques cloisonnements câble téléphérique
Analyse	Contrôle de l'adéquation du réseau existant par rapport aux caractéristiques du sol et du relief	Contrôle <ul style="list-style-type: none"> des particularités du relief des caractéristiques du sol 	n° 1 Implantation d'un réseau en fonction des caractéristiques du relief et de la texture du sol = Tableau page 28, chapitre 2	Le réseau de desserte existant est compatible avec la nature du sol et avec le relief OUI NON
Analyse	Vérification de l'intérêt du réseau existant pour la desserte de la zone à exploiter	Contrôle de la rectitude des tracés leur orientation leur espacement	n° 2 Orientation et efficacité du réseau existant	La desserte en place couvre toute la zone à exploiter NON OUI
Adaptations	Optimisation du réseau de desserte existant	Corrections et compléments	Mise en place d'un réseau de desserte interne <ul style="list-style-type: none"> choix du réseau caractéristiques techniques lignes directrices du réseau 	Réseau de desserte interne optimal ou acceptable

Directive du Land de Baden Württemberg sur la « desserte fine des parcelles forestières »

Exemple 1

Cas d'une parcelle avec un sol à texture dominante très sableuse donc peu sensible au tassement, sauf en période humide :



Source : G. Lavaupot, 2005 modifié

Plan explicatif d'intervention

Le plan explicatif d'intervention doit faire comprendre les raisons de la position des cloisonnements.

1° Ils convergent vers des points de franchissements protégés

2° Ils évitent toutes les zones humides et franchissent les fossés en des points équipés

Ce plan explicatif d'intervention **doit être fourni à l'opérateur** (Laissez une bonne impression, Carte inter-organismes, 2003).

Exemple 2

Peuplement mur avec de gros bois à exploiter en grande longueur.
Une carte de sensibilité potentielle a été réalisée. Les zones 1 et 3 sont très sensibles au tassement tandis que les zones 2 et 4 ne le sont pas.

Objectifs :

- différencier l'accès des zones suivant leur sensibilité potentielle ;
- garder ouvert le plus longtemps possible l'accès des zones peu sensibles (2 et 4) même en cas d'arrêt d'exploitation sur les zones sensibles (1 et 3) suite à des précipitations.

Principes d'installation des cloisonnements :

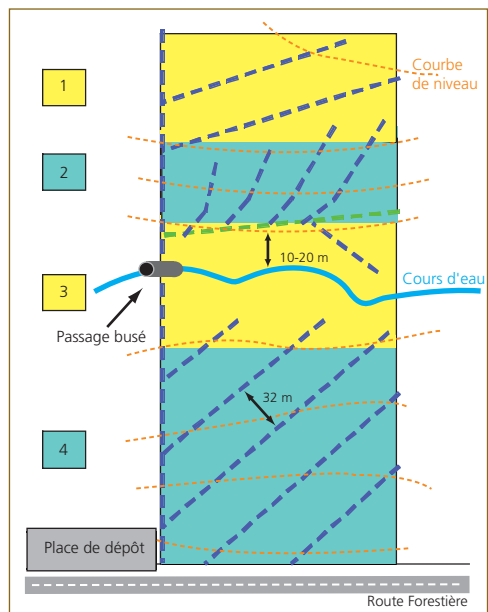
- un seul passage busé où passe un cloisonnement « principal » ;
- tirer le moins de linéaire sur les zones sensibles (1 et 3) ;
- tenir compte de la pente de la zone 2 (donc du dévers) en mettant le réseau perpendiculaire à la pente ;
- suivant la distance réelle des bois à prélever de la zone 3 près du ruisseau, le cloisonnement **vert** passe sur la zone la moins sensible (2).

Consignes d'exploitation :

- s'il fait beau : commencer par les zones du fond (1 et 2) en prenant toutes les précautions nécessaires au passage de la zone 3 (circulation sur rémanents, tracks) ;
- s'il doit pleuvoir : Ne plus circuler sur les zones 1 et 3. Ne travailler sur la zone 2 que si le passage de la 3 est possible. Exploiter la zone 4 en attendant.

Alternatives :

Modifier le parcellaire
ou à minima l'assiette des coupes pour s'appuyer sur les limites naturelles et ne pas avoir à franchir le cours d'eau à chaque coupe sur cette parcelle et les voisines (unité de vidange).



1	Les systèmes terrestres	59
2	Les systèmes terrestres pour le bois énergie	62
3	Les systèmes aériens	64
4	Les accessoires des machines forestières	66



Les systèmes d'exploitation forestière

Un système d'exploitation forestière comprend :

- la méthode (qui est le degré de transformation du produit : en bois longs, en bois courts, en arbres entiers, en plaquettes) ;
- l'équipement de base (abatteuse, débusqueur, porteur, câble mât, ...) ;
- les procédés nécessaires pour réaliser un processus de mobilisation dans une situation déterminée de travail.

Les systèmes d'exploitation sont regroupés en trois types :

- les systèmes terrestres ;
- les systèmes terrestres pour le bois énergie ;
- les systèmes aériens.

Sont décrits ci-après les systèmes d'exploitation forestière **les plus communément utilisés en France** pour la mobilisation des bois. Les descriptions sont basées sur les types d'engins forestiers utilisés ainsi que sur l'enchaînement des différentes phases du bûcheronnage et du débardage.













Pour chaque type d'engin, il existe une large gamme de capacité de charge et de motricité (voir les sites internet des constructeurs de machines forestières).

Nous présentons pour chaque système d'exploitation les conditions d'utilisation, les principaux avantages et inconvénients, ainsi que quelques informations pratiques.

Lors du choix d'un système d'exploitation, il est important de tenir compte des paramètres suivants, car ils ont une grande influence sur la mise en œuvre des opérations, de leur productivité et donc de leur coût de revient :







- le site et le terrain (pente, texture, zone humide,...) ;
- le cloisonnement forestier et la desserte existante ;
- la ou les essences concernées et la dimensions des arbres ;
- les produits à façonner ;
- la ou les places de dépôt disponibles ;
- le mode de transport à envisager ;
- les opérations de nettoyage et/ou de reboisement demandées ;
- la disponibilité de la main d'œuvre ;
- la disponibilité des machines.

Les machines forestières et les équipements usuellement employés peuvent être classés ainsi :

Machines forestières et équipements		
ABATTAGE	Scies à chaîne 	Abatteuses à roues ou à chenilles 
	Tracteurs agricoles 	Broyeurs 
DEBUSQUAGE et DEBARDAGE	Débusqueurs à pince ou à grue 	Débusqueurs à câble 
	Porteurs forestiers 	Porteurs à pince ou semi-porteurs 
	Pelles à roues ou à chenilles 	Câbles longs, Câble-mâts, (avec ou sans tête d'abattage) 
	Petite mécanisation (cheval de fer, minidébardeur,...) ou cheval 	Hélicoptères 

Les systèmes terrestres

Bûcheronnage manuel et débardage « classique »

Abattage	Façonnage	Débardage
		Bois courts 
		Bois longs  ou   

Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Tous types de peuplements et de terrains accessibles pour le travail de machine à roues • Résineux et feuillus (Bois d'industrie ou bois d'œuvre) • Terrain avec une pente inférieure à 40 % (sauf débuseur à câble restant sur les pistes)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Techniques répandues et maîtrisées • Faible investissement financier pour l'opération d'abatage • Organisation et planification faciles (peu d'interdépendance entre les opérations)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Faible productivité de l'abattage et du façonnage manuels • La pente du terrain et la taille des bois établissent les limites pour le porteur forestier • S'il est mal planifié, le débardage peut causer de graves impacts (par manque de cloisonnements ou travail sur sol sensible ou humide)






Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :

Sous réserve de précautions

Informations pratiques :

- les bûcherons ne doivent pas travailler seuls ;
- La machine doit utiliser les voies de débardage existantes (celles-ci devant être matérialisées).

Bûcheronnage mécanisé et débardage « classique »

Abattage	Façonnage	Débardage
	<p>ou</p> 	Bois courts 
		Bois longs  ou 

Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Tous types de chantiers pour les machines à roues • Surtout pour les bois résineux, pas pour les feuillus de grande dimension • Pente inférieure à 40 %.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Productivité globale du système élevée et système bien maîtrisé en résineux • Organisation et planification aisées • La circulation des engins sur les rémanents permet de faciliter les opérations de nettoyage, de diminuer les coûts du reboisement et de limiter les impacts au sol
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Equipement à niveau d'investissement élevé • L'utilisation de l'abatteuse et du porteur est limitée par la pente et dans une moindre mesure par la taille des bois • Le risque d'augmentation de la surface circulée s'accroît avec le nombre de machines quand il n'y a pas de cloisonnements • S'il est mal planifié, le débardage peut causer de graves impacts au sol (par manque de cloisonnements ou travail sur sol sensible ou humide). C'est rarement lors de l'abattage mécanisé que les dégâts se font.




Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :

Sous réserve de précautions

Informations pratiques :

- les opérateurs de machine doivent être qualifiés.

Bûcheronnage manuel et petite mécanisation

Abattage	Façonnage	Débardage
		Bois courts 
		Bois longs 

Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Tous types de peuplements et de terrains accessibles et même sensibles au tassement • Résineux et feuillus (bois d'industrie ou bois d'œuvre) avec des volumes de charge limités (1m³) • Terrain plat (Sur terrain pentu, l'utilisation de goulottes de débardage peut être envisagée pour faire glisser par gravité les billons jusqu'à une piste ou place de dépôt)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Faible investissement financier pour les opérations d'abattage et de débardage • Faibles impacts au sol et tassement minimal • Bien adapté aux petits chantiers
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Faible productivité de l'abattage et du débardage • Distances de débardage limitées • Volume des arbres inférieur à 1 m³ si bois longs

Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :



<p>Informations pratiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les bûcherons ne doivent pas travailler seuls ; - nécessité d'une formation pour les opérations d'abattage et de débardage ; - si possible, abattage et débardage en simultané ; - possibilité de réaliser un débusquage des bois jusqu'aux cloisonnements où ils seront repris par un porteur ou un débusqueur (méthode mixte de vidange).

Les systèmes terrestres pour le bois énergie

Sur coupe

Abattage	Façonnage	Mise en plaquettes	Débardage
 ou 			

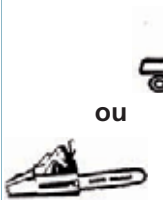



Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Résineux et feuillus • Terrain plat et peu accidenté
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de traiter les taillis peu valorisables et les dépressages • Risques d'accident limités grâce à l'assistance des machines • Manipulation des plaquettes facile
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Exige une déchiqueteuse très mobile • Il peut être difficile de coordonner la flotte des porteurs ou porte-containers • Organisation complexe car les phases de travail sont interdépendantes • Limité à des petits diamètres et à de grands chantiers • Si elles sont mal planifiées, les opérations peuvent causer de graves impacts au sol (par manque de cloisonnements ou travail sur sol sensible ou humide)

Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :

Informations pratiques :

- il n'y a pas forcément de façonnage des arbres avant leur broyage, ils peuvent être broyés en arbre entier avec les branches ;
- l'utilisation des déchiqueteuses à tambour est préférable lorsqu'il s'agit de déchiqueter les branches.

Sur piste ou place de dépôt

Abattage	Façonnage	Débardage	Mise en plaquettes
 <p>ou</p>	 <p>ou</p> 		
Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Résineux et feuillus • Terrain plat 		
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Risques d'accident limités grâce à l'assistance des machines • Possibilité de déchiqueter de gros diamètres • Le chargement des camions peut être effectué simultanément avec le déchiquetage 		
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Investissements lourds • Nécessite une grande place de dépôt • Si elles sont mal planifiées, les opérations peuvent causer de graves impacts au sol (par manque de cloisonnements ou travail sur sol sensible ou humide) 		


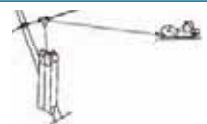





Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :

Informations pratiques :

- le débardage des bois peut se faire par arbres entiers (non ébranchés) ou par tronçons d'arbre entier ou par tronc entier (ébranchés) ;
- l'opérateur du broyeur doit être dans une cabine fermée ou, au minimum, porter un masque antipoussière et des lunettes de protection ;
- l'utilisation des déchiqueteuses à tambour est préférable lorsqu'il s'agit de déchiqueter les branches.

Les systèmes aériens

Bûcheronnage manuel et câble

	Abattage	Façonnage	Débardage	
				ou 
OU	Abattage		Débardage	Façonnage
				 ou 



Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Toutes pentes • Résineux et feuillus • Nécessité d'adapter la sylviculture pour que les contraintes économiques restent acceptables
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Excellente préservation du sol à cause des faibles impacts du débardage • Le débardage peut se faire par tous les temps • Récupération des rémanents possible
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'exploitation élevés • Organisation qui nécessite une planification et une coordination rigoureuse • Nécessité d'un espace suffisant pour le dépôt des bois

Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :



<p>Informations pratiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'abattage et le façonnage des arbres peuvent aussi être réalisés par une pelle araignée équipée d'une tête multifonctionnelle, sur des pentes jusqu'à 70 % et hors situation de sols classés comme sensibles au tassement ; - le façonnage sur la piste ou la route forestière favorise la sécurité du travail.
--

Bûcheronnage manuel et hélicoptère

Abattage	Façonnage	Débardage
		
Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Toutes pentes • Résineux et feuillus (Bois d'œuvre) 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'impact au sol • Productivité très élevée 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'exploitation élevés • Organisation qui nécessite une planification et une coordination rigoureuse • Nécessité d'un espace suffisant pour le dépôt des bois 	

Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont (voir chapitre 2, tableau de diagnostic page 28) :



Informations pratiques :

- le cycle de débardage ne doit pas dépasser les 3 minutes ;
- la charge peut varier de 1 à 3 tonnes suivant le type d'hélicoptère.

Les accessoires des machines forestières

Il existe de nombreux accessoires pouvant être montés sur les machines forestières pour augmenter l'adhérence ou baisser la pression exercée au sol.

Les pneus larges

Afin de limiter la pression exercée au sol, les fabricants de pneumatiques forestiers ont élargi la largeur du boudin ce qui augmente la surface de contact au sol. De 400 mm de large, ils sont passés couramment à 600 mm, et maintenant 710 mm, voire dans de plus rares cas 900 mm. On parle de pneus larges si le ratio « Hauteur du boudin / Largeur du boudin » est inférieur à 0,8. Ces pneus ont en général des sculptures peu agressives. Mais le pneu le plus large et au profil le moins agressif n'est pas toujours la meilleure solution : s'il n'évacue pas correctement la terre qui s'accumule entre ses barrettes, il se met rapidement à patiner et, dans certains cas, l'engin à vide ne parvient pas à monter les pentes, mêmes faibles.



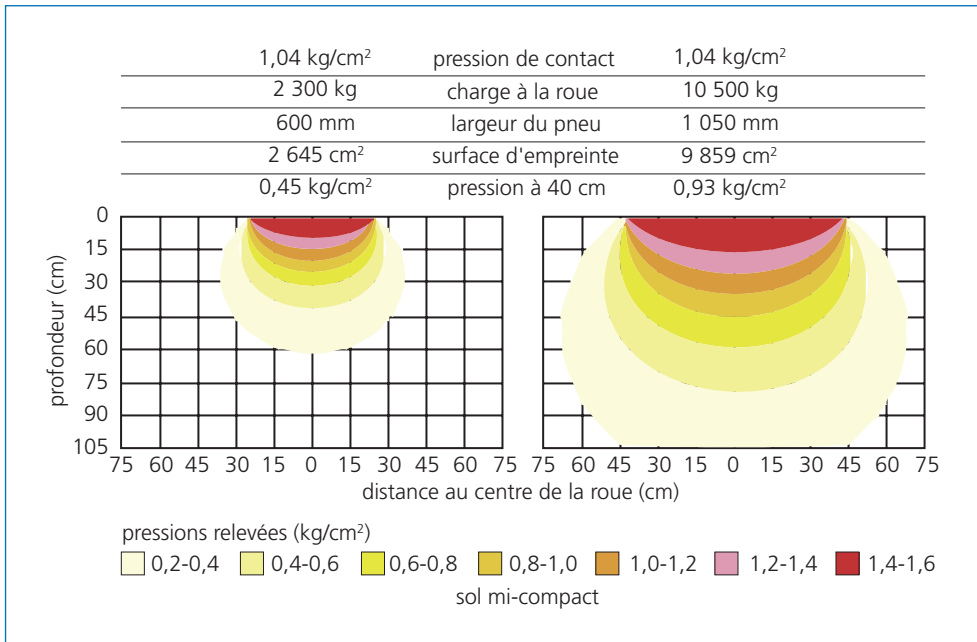
Source : E. Cacot / FCBA

Porteur forestier équipé de pneus larges et de tracks sur les boggies arrières

Les pneus forestiers sont souvent gonflés à des pressions assez élevées (de 4 à 6 bars) car cela les rend plus résistants surtout si l'engin est amené à circuler sur des souches. Contrairement à ce que l'on entend souvent, il n'existe pas réellement de pneus basse pression pour le milieu forestier.

A pression de contact identique, un pneu large engendre une pression au sol plus en profondeur et augmente donc le risque de tassement des horizons profonds du sol.

Le graphique ci-dessous montre une roue très large à droite (1 050 mm) mais sur laquelle s'exerce une forte charge (10 500 kg) en comparaison d'une roue de 600 mm avec une charge légère de 2 300 kg (à gauche). Avec des pressions au sol identiques (1,04 kg/cm²), le tassement se fait sentir sur une plus grande profondeur avec la roue large.



Source : Diserens et spiess

Relevé des pressions exercées par deux pneus de dimension différente mais ayant une même pression de contact

L'utilisation de pneus larges est donc importante pour protéger le sol, en diminuant la pression, à condition de ne pas charger plus l'engin.

Les chenilles

Certaines machines forestières sont montées sur des chenilles (utilisation de pelles TP comme abatteuses). Celles-ci permettent d'atteindre une pression au sol plus faible : 0,3 à 0,4 bar, avec des chenilles pouvant aller jusqu'à 80 cm de large. Souvent peu appréciées par les forestiers pour des raisons historiques, elles peuvent pourtant fournir de très bons résultats pour limiter les impacts au sol.

Les chaînes

Un engin n'avance que si l'adhérence est suffisante. Dans le cas contraire, il patine. Lorsqu'ils sont détrempés, certains terrains (en particulier argileux) voient leur adhérence chuter. Même équipés de bons pneus, les engins peuvent se comporter comme de véritables luges. Leur adhérence remonte quand on les équipe de chaînes métalliques, en général sur un seul des ponts moteurs. En revanche, les chaînes sont agressives pour les racines, le pied des arbres, les pistes et les routes. Il existe plusieurs profils (maillons en losange, cercles métalliques crantés...).



Source : E. Cacot / FCBA

Exemple de chaîne forestière

Les tracks

Ces semi-chenilles métalliques sont montées sur les roues d'un bogie (ensemble de deux roues motrices montées sur un balancier). Les tracks augmentent la surface de contact au sol grâce à la présence des tuiles entre les deux roues qui sont légèrement supérieures à celles des pneus. Ce sont des outils performants, à condition qu'ils soient installés avant l'apparition de profondes ornières ; mais, même s'ils permettent de continuer à travailler dans des conditions peu favorables (terrain détrempé), il faut parfois arrêter les opérations en cours au risque de créer des dégâts irrémediables.

Certains modèles de tracks présentent des tuiles larges et longues, avec un profil peu agressif. Ils permettent de diminuer de façon notable la pression exercée au sol en augmentant fortement la surface de contact au sol.

Ainsi un porteur de capacité de 12 tonnes, chargé et équipé de pneus 600 x 26,5, abaisse sa pression moyenne au sol de 1,1 bar (pneus seuls) à 0,6 bar en s'équipant de tracks à tuiles larges.

Les tracks servent également à augmenter l'adhérence, car les tuiles sont équipées de crampons ou barrettes d'adhérence, plus ou moins prononcés suivant les modèles. Certains tracks ne sont conçus que pour augmenter l'adhérence de l'engin (tuiles étroites avec des crampons nombreux et saillants).



Source : Olofsfors

Tracks conçus pour limiter la pression au sol et travailler sur des sols humides

Tracks conçus pour augmenter fortement l'adhérence et travailler dans des zones accidentées ou enneigés

Il faut donc bien choisir les tracks en fonction des terrains. Sur la majorité des sols français sensibles au tassement, il convient de privilégier des tracks à tuiles larges, permettant une bonne évacuation de la terre par « auto-nettoyage » et offrant également une bonne adhérence (picot d'adhérence).



Source : M. Buors / ONF



Source : M. Buors / ONF

Tracks montés sur un porteur forestier

Les kits de franchissement des cours d'eau

Le franchissement de cours d'eau ne peut pas se faire sans précaution. Il convient au préalable de respecter la réglementation existante, tel que précisé dans le Règlement national d'exploitation forestière pour les forêts publiques :

« Il est interdit de traverser et de circuler dans les cours d'eau (ruisseaux et rivières) en dehors des équipements ou dispositifs appropriés permanents. En cas d'absence de tels équipements, l'intervenant est tenu d'obtenir l'autorisation administrative auprès de l'autorité compétente en matière de police de l'eau pour utiliser des dispositifs amovibles ou circuler de façon temporaire dans le cours d'eau (actuellement les DDAF ou MISES Mission Inter-Service de l'Eau) ».

Trois grands types de kits pour le franchissement de cours d'eau sont préconisés :

- des tuyaux en polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- des passerelles métalliques, ou de simple ponts de rondins ;
- de simples ponts de rondins.



Tubes PEHD



Passerelle métallique

Source : FCBA

Concernant les tuyaux PEHD, un jeu de trois tuyaux de 40 cm de diamètre constitue le kit le plus polyvalent. Lors de l'installation, des rondins peuvent venir compléter ces tuyaux afin de les caler et d'éviter aux engins forestiers de rouler directement sur les tubes PEHD.

Une fois le franchissement terminé, il faut enlever l'ouvrage temporaire en laissant la zone la plus intacte possible. Plus largement, il faut être particulièrement vigilant lors de travail à proximité de toutes zones humides (mare, cours d'eau, tourbière...) pour éviter tout dommage.

Pour plus de renseignements, voir les fiches informations Forêt de l'AFOCEL n° 644 et 690 disponibles sur le site FCBA.



Source : D. Pischredda / ONF

Passage d'un ruisseau avec un kit de franchissement PEHD complété de rondins



Source : FCBA

Passerelle métallique

Les câbles synthétiques

Aller débusquer des grumes dans les interbandes depuis les cloisonnements n'est pas forcément chose aisée avec des câbles métalliques, lourds et engendrant des blessures sur les arbres lors de frottements.

Il est possible de remplacer ces câbles métalliques par des câbles synthétiques robustes en polyéthylène HMPE (High Modulus PolyEthylene). Ces derniers sont nettement plus légers (8-10 fois moins lourds) et rendent le travail moins pénible et moins dangereux (pas de barbes métalliques, pas de coup de fouet en cas de casse).



Une terminaison simple et efficace : une épissure en œillet autour d'un anneau de débardage



Utilisation des chokers traditionnels, avec élingues ou chaînes



Enroulement du câble synthétique sur un tambour

Source : FCBA

En résumé

Limiter les charges et donc la masse des machines mais aussi adapter la puissance et la capacité du matériel est le moyen le plus simple :

- de réduire les impacts aux sols et aux peuplements ;
- de limiter le recours à des accessoires qui ont un coût ;
- d'améliorer la productivité et la marge bénéficiaire.

Il est donc important d'utiliser les matériels les mieux adaptés aux prestations demandées. Les constructeurs ayant généralement une vaste gamme de produits.

1 Le débardage par câbles aériens **73**

2 La petite mécanisation **80**



Les câbles aériens et autres techniques alternatives

Le débardage par câbles aériens

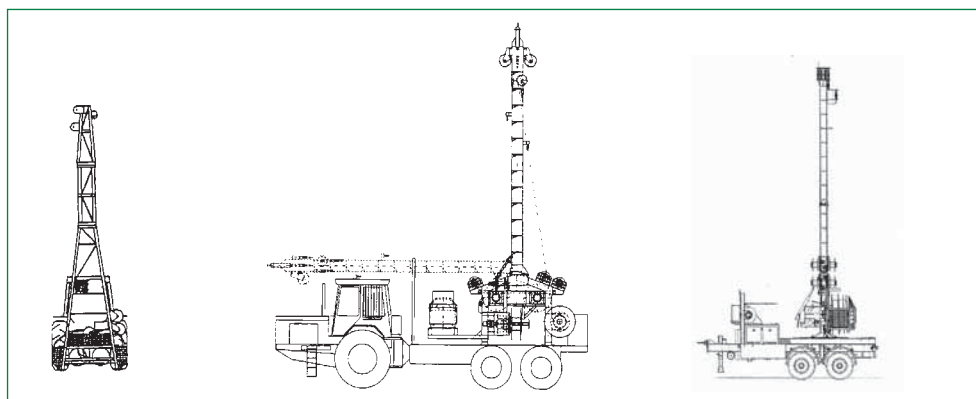
Les matériels de débardage par câbles aériens

Il existe deux grandes familles de matériels pouvant être utilisés pour débarder du bois en terrain plat : les câble-mâts et les chariots autotractés.

Les câble-mâts

Ceux-ci sont montés soit à l'arrière de tracteurs agricoles, soit sur le châssis de porteurs forestiers ou de camions, soit sur des remorques indépendantes. Leur encombrement mais aussi leur possibilité d'accès aux coupes et leur mobilité sont directement liés à ce choix. Ils peuvent aussi, suivant les modèles, être équipés d'une tête de façonnage.

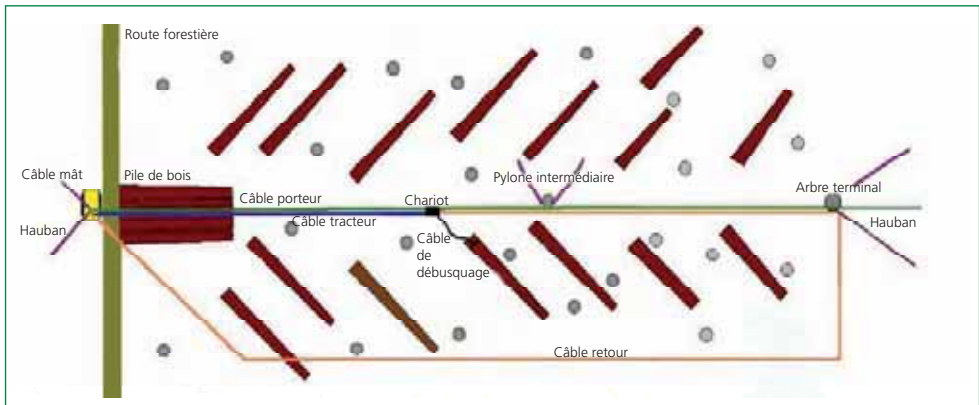
Ils ont en commun la présence d'un mât qui surélève le câble porteur et sur lequel sont positionnés les treuils, les moteurs, et une console de commande.



Exemples de câbles-mâts

NB : Pour débarder à plat, la présence de trois câbles (et donc de trois treuils) est indispensable :

- un câble porteur sur lequel circule un chariot qui va chercher les bois à débarder sur la coupe et les ramène sur une place de dépôt ;
- un câble tracteur qui tire le chariot et la charge en direction du câble-mât ;
- un câble de retour qui ramène le chariot à vide sur la coupe.



Ligne de câble vue de dessus

La capacité de transport de ces matériels varie de **2,5 à 5 tonnes par charge**, soit le poids de la plupart des grumes issues des forêts françaises.

Les chariots autotractés

Les chariots autotractés circulent sur un câble porteur, grâce à un moteur thermique placé dans le chariot. Un seul câble est donc nécessaire ; par contre la capacité de déplacement des charges est plus limitée et celui-ci est plus lent. D'autre part, la mécanique et l'hydraulique étant embarquées dans le chariot, qui est l'organe mobile du système, les risques encourus en cas de chute sont plus élevés.



Source : Konrad Forsttechnik

Exemple de chariot autotracté

Organisation du travail

La plus souvent pour la phase de débardage, un câble-mât est piloté par à deux personnes, un « opérateur » et un « accrocheur ».

• L'opérateur

- fait fonctionner les treuils ;
- assure le décrochage des grumes qui arrivent sur la pile de bois ;
- réalise l'entretien de la machine ;
- assure les liens avec le transporteur qui vient charger les grumes sur le camion.

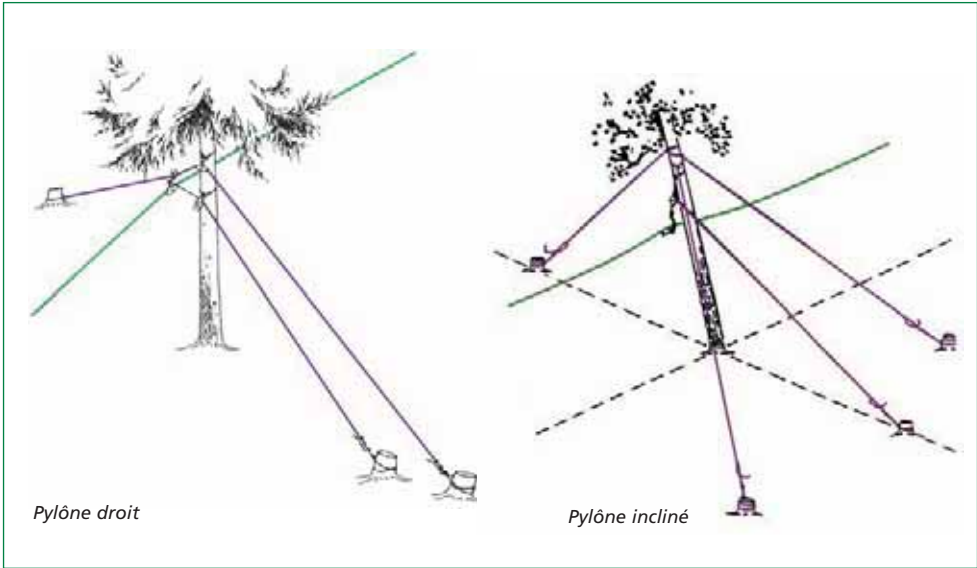
• L'accrocheur

- compose les charges à débusquer puis à débarder sous le câble (le volume de la charge doit toujours être optimisé, ce qui demande un grand savoir-faire) ;
- donne, par radio, des instructions à l'opérateur pour manœuvrer le chariot qui revient à vide ;
- hale le câble de débusquage (ou câble pêcheur) jusqu'à la nouvelle charge, passe les élingues sous la grume et l'accroche au câble pêcheur avant de donner l'ordre de débusquer sous son contrôle. En cas de problème, il peut être amené à billonner la charge pour faciliter son débusquage ;
- prépare le travail à venir, quand le chariot est parti avec sa charge : billonnage des bois si nécessaire, positionnement des élingues...

Le montage

Il s'agit d'une opération complexe et physique. Ce *temps de préparation* est l'équivalent de l'ouverture d'une piste devant un engin à roues. Cela explique pourquoi le travail productif de ce système de débardage (temps où le bois est réellement débardé) varie, en moyenne, entre **40 et 55 %** du temps de présence sur le chantier.

A plat, pour soutenir le câble porteur, il est nécessaire d'installer un ou plusieurs pylônes intermédiaires, suivant la longueur de la ligne et la topographie (fossés, cours d'eau, ...). Ces temps ne sont donc pas des temps productifs.



Source : I. Samset / NISK

Exemple de deux pylônes couramment utilisés par les câblistes

Le débardage

Les grumes sont tout d'abord débusquées par le câble pêcheur jusque sous le câble porteur, puis débardées jusqu'à la place de dépôt, devant le câble-mât.

D'une manière générale, la **distance de débusquage ne doit pas dépasser les 50 m** de part et d'autre de la ligne. Cette distance peut toutefois être augmentée pour éviter d'installer une autre ligne.

Par contre, plus on va chercher les bois loin de la ligne :

- plus les temps de débusquage sont longs, ce qui a une incidence très négative sur la productivité ;
- plus le risque de blessures sur les arbres restants augmente.

Ces engins se positionnent sur les pistes et routes forestières. **La place disponible devant le câble-mât est cruciale pour la bonne organisation du travail et donc sa rentabilité.**

Soit les bois sont laissés devant la machine pour une reprise ultérieure par un grumier, soit il est nécessaire de faire intervenir un engin pour les dégager en continu si la place de stockage est limitée. L'organisation de cette logistique est particulièrement importante et peut coûter plusieurs points de productivité si elle est mal appréhendée.

La communication entre les opérateurs se fait soit par radio, soit par des systèmes de radiocommandes automatiques du chariot repris par l'un ou l'autre des opérateurs quand celui-ci arrive à proximité.



Source : D. Pischhedda / ONF

Chantiers de débardage par câble-mât



Source : M. Bartoli / ONF

Mise en place du sabot d'un pylône droit

Productivité

Il est d'usage d'utiliser un descripteur économique synthétique, **l'Indice de Prélèvement Câble ou IPC**, qui est le rapport du prélèvement réalisé sous la ligne de câble ramené à la longueur de cette dernière. L'IPC est donc exprimé en m^3/ml .

Pour les câbles-mâts, l'IPC, **doit être au moins de $0,5 \text{ m}^3/\text{ml}$** pour atteindre des objectifs de productivité et donc de rentabilité acceptables.

Exemple : Pour une ligne de câble de 200 m de long, il faut débarder au moins 100 m^3 , ce qui équivaut à un prélèvement de $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ pour une distance de débusquage de 50 m de part et d'autre de la ligne.

Attention toutefois, l'IPC est utile pour le câbliste lors de la détermination de son prix de prestation mais il n'est pas un guide direct pour le sylviculteur en terme de prélèvement. En effet, si la ligne est obligée de traverser une zone en dehors de la coupe cela va baisser l'IPC quelque soit le prélèvement effectué sur la coupe !

La productivité du débardage par câble varie suivant le volume de l'arbre moyen, le volume moyen de la charge et la longueur de la ligne. En moyenne, une fois installé, un câble-mât produit autant que les autres systèmes de mobilisation (par heure productive).

Lors des chantiers de démonstration en plaine (réalisés en 2005 -2006), les résultats suivants ont été obtenus :

Chantier de démonstration	Type de Peuplement	Productivité (m³)			Commentaires
		par heure d'activité	par heure productive	par jour productif	
FD de Mormal (59)	Secondaire de régénération	4,6	10,9	80 à 110	Lors de la démonstration, 250 m³ ont bien été débardés en deux jours
FD de Chaux (39)	Amélioration	3,8	7,1	60 à 70	La faible productivité par heure d'activité résulte en grande partie des faibles volumes des charges transportées (1 m³ en moyenne), du fait que les bois ne devaient pas toucher le sol lors du passage d'un ruisseau , ce qui a limité le volume de chaque voyage.
FD des Haut-Bois (54)	Amélioration	5,0	10,7	80 à 110	

Points importants pour améliorer la productivité

- Une bonne coordination entre le gestionnaire et le câbliste est nécessaire pour positionner les lignes de manière optimale et limiter le nombre de pylônes à installer. Ces derniers doivent être facilement repérables par les bûcherons.
- La ligne doit être matérialisée pour que les bûcherons puissent pratiquer un abattage directionnel (en arête de poisson), ce qui limite les manœuvres et donc les impacts aux arbres restants.
- Le grumier venant charger les bois doit être coordonné avec le câbliste pour éviter un engorgement de la place de dépôt devant la machine.

Coûts

De par la présence de deux personnes et les phases non productives d'installation des lignes (montage – démontage), le coût de revient d'un câble est plus élevé que celui des autres systèmes de mobilisation.

L'impact d'une bonne organisation du travail est aussi très important.

- suffisamment de volume à prélever sous la ligne (IPC minimum respecté) ;
- bonne coordination entre les bûcherons et le câbliste (abattage directionnel) ;
- bonne coordination entre le rythme de débardage et la venue des camions pour libérer la place de dépôt devant le câble (jusqu'à 10 % de la productivité peuvent être gagnés).

Ainsi, lors des chantiers de démonstration (2005 – 2006), les coûts de revient du débardage (calculé sans marge bénéficiaire et qui n'est donc pas un prix de prestation) ont été en moyenne **2 fois supérieurs à ceux d'un système terrestre** (débusqueur, porteur). Au regard de ces coûts, la place du câble doit s'analyser par rapport aux bénéfices en termes de qualité du travail sur sols sensibles.

Ces bénéfices sont autant de coûts évités lors des opérations qui suivront. C'est ce que les économistes appellent des **coûts cachés ou des externalités négatives**. Toutefois lorsqu'on les intègre dans les calculs économiques sur la vie d'un peuplement, **le câble ne s'avère pas plus cher que le tracteur (voir le modèle théorique du LEF, Rdv Techniques ONF n°19)**.

Bénéfices

- Presque pas d'impacts au sol (FD des Hauts Bois = 2,5 % de la surface)
- Travail possible par tout temps, quelle que soit la teneur en eau sans rupture d'approvisionnement
- Pas de reprise d'ornière
- Pas de fossé de bordure ou interne à refaire
- Pas besoin de travaux lourds du sol lors de la régénération (dans le cas d'un tassement important de la parcelle)
- Pas d'entretien de cloisonnement

De plus, d'autres bénéfices peuvent être cités

- Presque pas de bruit
- Risques de pollution maîtrisés (car la machine est immobile)
- Pas d'arbres dépérissant suite au tassement de sol (pas de perte de production voire de perte qualitative)

Inconvénients

- Coût instantané plus élevé
- Nécessité d'un personnel qualifié
- Nombre d'entreprises limité en France (une douzaine contre plus de 500 en Autriche)

La petite mécanisation

Le cheval de fer

Le « *cheval de fer* » est un engin suédois de petite taille conçu essentiellement pour travailler dans les premières éclaircies résineuses. Il symbolise le concept de la « petite mécanisation ».

Il se déplace à l'aide de chenilles en caoutchouc - de forme dite Traban – très larges, ce qui explique la très faible pression exercée au sol. Il avance à environ 3,5 km/h, soit la vitesse d'un homme ou d'un cheval se déplaçant en forêt.

Deux modèles sont disponibles :

	Modèle standard	Modèle Pro
Largueur	108 cm	108 cm
Longueur	280 cm	280 cm
Poids	330 kg	377 / 385 kg
Moteur	5,5 ch	5,5 / 9 ch
Capacité de charge	1 – 1,2 m ³	1 – 1,2 m ³
Pression au sol en charge de 500 kg	0.150 kg/cm ² *	0.156 kg/cm ² *

* un porteur exerce une pression moyenne au sol de 1 à 2 kg/cm² par roue, soit 5 à 10 fois plus.

Caractéristiques des deux modèles de cheval de fer



Source : Lennartsfors AB



Source : Lennartsfors AB

Cheval de fer avec remorque ou grue

Il peut être équipé d'un treuil hydraulique ainsi que d'une remorque, d'un trinqueballe, ou d'une grue pour un poids avoisinant les 400 kg. Le treuil, non télécommandé, a une force de traction d'environ 1 tonne et la remorque une capacité de chargement de 500 kg.



Source : D. Pischcedda / ONF

Le chargement classique



Source : D. Pischcedda / ONF

Débardage d'une grume de 1 m³

Si le cheval de fer a plutôt été conçu pour le débardage des premières éclaircies, il est tout à fait capable de sortir des arbres relativement volumineux (1 m³ environ) sans trop de difficulté.

Cet engin est aussi polyvalent et peut servir comme porte-outils (plants, piquets, ...).



Source : Lennartfors AB

Utilisation de Cheval de fer comme porte-outils



Source : Lennartfors AB

Il n'est pas le seul outil de ce type sur le marché, conçu pour les travaux d'exploitation forestière. Les constructeurs sont plutôt scandinaves et allemands, mais quelques français développent des engins similaires. Toutefois, il n'y a pas ou peu de références disponibles de chantier réalisés en France.



KAstor JM1H



ALSTOR



Forcat 2000



Raup - trac

Impacts au sol

Après le chantier expérimental en FD de Perche Trappe (61), seule **4 % de la surface présentait des perturbations légères** (c'est-à-dire de moins de 5 cm de profondeur) et aucune perturbation sévère. Les cheminements de l'engin étaient très difficiles à retrouver au premier coup d'œil.

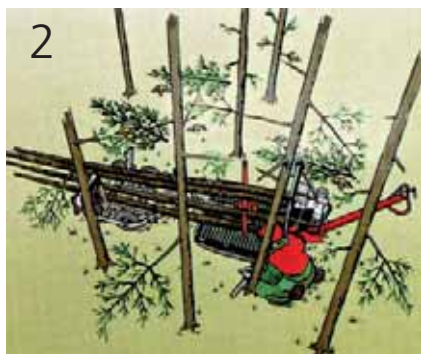
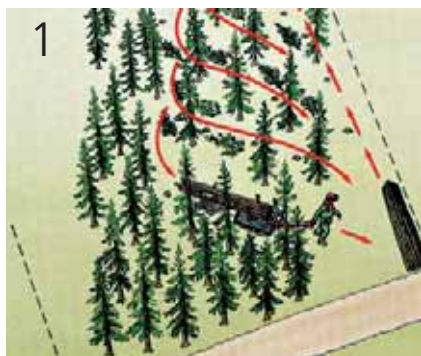


Les traces laissées par le cheval de fer en charge sont difficilement repérables

Productivité

Avec une bonne coordination du bûcheronnage et du débardage, les productions sont de l'ordre **de 3,5 m³ par heure effective** avec des arbres de volume unitaire de 0,1 m³ (essais réalisés en Suède).

Une organisation simultanée du bûcheronnage et du débardage est absolument à recommander (quel que soit le type de mini débardeur).



Source : Lennartstors AB

1. Déterminez tout d'abord où sont déposés les bois. Commencer ensuite la coupe à l'extrémité de la zone de travail en vous déplaçant graduellement vers le dépôt.

2. Positionnez la machine à côté de l'arbre à abattre : faites-le tomber sur la charge ou sur le rouleau. Attention ! reculez-vous pendant la chute.

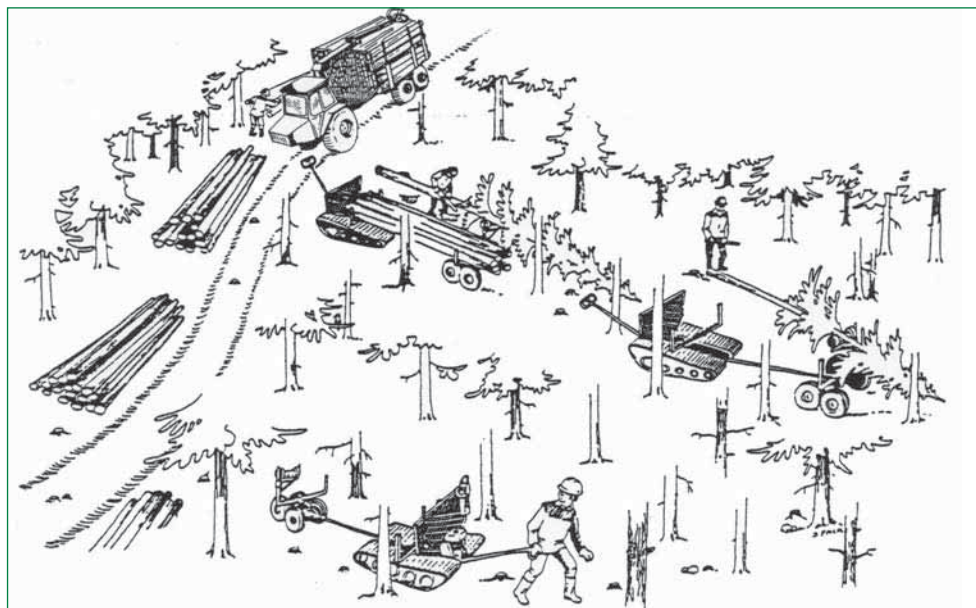
3. Ebranchez l'arbre reposant à plat, à une hauteur de travail confortable. Coupez alors la cime.

4. Faites coulisser l'arbre sur le rouleau avant.

5. Tronçonnez un billon avant le rouleau arrière, tirez le reste de l'arbre, et tronçonnez à nouveau, et ainsi de suite. Lorsque la charge est complète, conduisez la au dépôt.

Méthode de vidange mixte

Dans certains cas, le cheval de fer, le cheval, ou tout autre mini débardeur peut venir ravitailler les cloisonnements installés de façon très lâche ou les pistes pour une reprise au porteur.



Source : Moberg et al., 1988

Débusquage des bois par un cheval de fer quand le réseau de cloisonnements d'exploitation est installé de façon très lâche



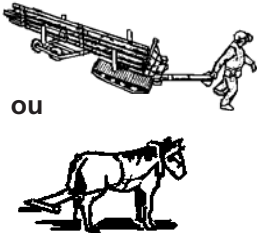

La combinaison de la petite mécanisation ou de la traction animale et d'un porteur peut être décrite comme indiqué ci-contre :



Source : D. Pischredda / ONF

Remorque hippomobile

Bûcheronnage et méthode mixte de vidange

Abattage	Façonnage	Débusquage	Débardage
 ou 	bois courts ou 		

Conditions d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Tous types de peuplements et de terrains accessibles sur sols très sensibles (limons et/ou sols hydromorphes) • Résineux et feuillus (bois d'industrie ou bois d'œuvre) avec des volumes de charge limités (1m³) • Terrain plat
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Faibles impacts au sol et tassement minimal • Si ouverture de cloisonnements à réaliser, possibilité d'utiliser un entraxe plus large, soit 32 à 36-40 m au lieu de 16-18 m
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Les cloisonnements utilisés par le porteur ne pourront pas être protégés complètement par des rémanents alors qu'ils desservent proportionnellement plus de bois • Méthode de vidange limitée à de jeunes peuplements (VAM inférieure à 1m³) • Faible productivité du débusquage • Difficulté d'organisation logistique entre le débusquage au cheval de fer et le débardage au porteur (productivités très différentes) • Coût total de vidange plus élevé, vu le nombre d'opérateur • Difficulté à trouver des entreprises

Système d'exploitation utilisable lorsque les conditions de sol sont :

Sous réserve de précautions

Informations pratiques :

- les bûcherons ne doivent pas travailler seuls ;
- nécessité d'une formation pour les opérations d'abattage et de débusquage à pratiquer si possible, en simultané.



En guise de conclusion

Le sol est un écosystème à part entière dont dépendent la santé, la vigueur et la stabilité des arbres. Support essentiel de la production, de la biodiversité et de la durabilité des peuplements, il doit être géré de manière à préserver l'ensemble de ses capacités sur le long terme.

Ce guide aborde les différents aspects de cette thématique :

- La sensibilité potentielle des sols vis à vis du tassement est différente suivant la texture et l'évolution de son humidité. Ce dernier point est d'ailleurs un facteur primordial et est à ce titre l'une des données d'entrée du diagnostic proposé.
- L'impact potentiel des machines forestières augmente avec leur masse et le risque est d'autant plus élevé que l'humidité du sol est forte.
- L'organisation des chantiers forestiers en particulier celle des cloisonnements et la circulation des machines sont développés. Ainsi, le pas ou l'entraxe des cloisonnements doit être compatible avec les opérations à effectuer, les machines ne devant pas en sortir. Ils sont donc une structure pérenne nécessitant une réflexion globale lors de leur installation.
- Les machines forestières sont présentées dans le cadre des systèmes d'exploitation (produits exploités + matériels + succession des interventions) les plus utilisés en France.
- Les accessoires des machines forestières sont décrits (pneus larges, tracks, kit de franchissement,...) car ils permettent une réduction de la pression au sol et suivant le cas une meilleure adhérence.
- Les systèmes alternatifs ou complémentaires (câble-mât, petite mécanisation ou traction animale) adaptées aux prestations à réaliser sont présentés.



Il est mis en évidence que ces techniques alternatives ne sont pas forcément plus chères lorsque l'on prend en compte tous les coûts directs et indirects supportés par l'ensemble des acteurs de la filière : propriétaires (dégradation du sol, de la régénération ; perte de production en volume et en valeur), entreprises de travaux forestiers (remise en état, limitation des périodes de travail) et transformateurs (arrêts des flux de bois, dégradation de la qualité des produits).

Réalisé en partenariat avec de nombreux organismes issus de la gestion et de la recherche, ce guide est basé sur la synthèse des résultats de la recherche forestière et des pratiques dans les domaines du sol, de la sylviculture et du machinisme forestier.

De ce premier travail, d'autres études ont déjà été lancés pour affiner nos connaissances sur cette thématique complexe et développer à terme des outils de prévision voir de planification des travaux en fonction de la sensibilité des sols.

L'objectif de ces démarches est de mieux gérer durablement nos forêts en associant leur biodiversité avec la production du matériau renouvelable qu'est le bois.



Sommaire

Annexe 1 : Protocole d'échantillonnage

Annexe 2 : Estimation croisée de la texture et de l'état d'humidité d'un sol



Protocole d'échantillonnage

Introduction

Le diagnostic de sensibilité du sol s'intéresse aux facteurs décrits au chapitre 1 : les propriétés permanentes du sol (texture, pierrosité, traces d'hydromorphie) et son état d'humidité.

Il obéit par ailleurs à trois grands principes (chapitre 2) :

- il ne se limite pas à une observation de surface ;
- il porte sur l'ensemble de la surface qu'il est prévu de parcourir (les cloisonnements) ;
- le diagnostic final se base sur la plus forte sensibilité observée ;

Ce protocole décrit dans un premier temps comment déterminer la sensibilité du sol en un point donné, puis comment réaliser le diagnostic sur l'ensemble de la surface d'une coupe.

Etant donné que les engins de travaux forestiers doivent rester sur les cloisonnements, les observations seront donc réalisées le long de ceux-ci (ou de leur futur tracé s'il ne sont pas encore ouverts).

Annexe 1

Méthode

- 1) Délimiter à priori les différentes zones de sensibilité du sol (carte de sensibilité potentielle)
 - terrain plat ;
 - zone de bas fond, bas de pente (même faible) ;
 - zone la plus proche de la sortie des bois (place de dépôt, entrée des cloisonnements) ;
 - autres.

 - 2) Pour chacune de ces zones faire au moins 2 trous de 50 cm de profondeur à la tarière répartis le long des cloisonnements
 - si les trous se remplissent d'eau présence = d'une nappe d'eau à moins de 50 cm
⇒ forte sensibilité
 - sinon apprécier pour chaque horizon l'humidité et la texture à l'aide du tableau en Annexe 2 pour définir la sensibilité
 - ⇒ retenir la sensibilité la plus forte si plusieurs horizons
 - ⇒ retenir pour chaque zone la sensibilité la plus forte parmi les différents trous réalisés
- NB : si impossible de faire des trous à cause des cailloux, faire un trou à la pioche ou profiter d'un profil existant (bord de route ou chablis) pour évaluer la charge en cailloux.
- 3) Faire une carte de sensibilité effective (mais temporaire) des sols sur la ou les parcelles de la coupe en fonction des sensibilités définies pour chaque zone définie en 1

 - 4) En fonction des résultats, décider d'exploiter ou non, éventuellement partiellement et avec quels moyens

Compléments d'information

- A) Comment diagnostiquer la sensibilité du sol au tassement en un point donné (Variabilité verticale) ?

La sensibilité d'un sol au tassement dépend de ses caractères permanents (texture, pierrosité, hydromorphie) et de son état d'humidité.

Le diagnostic de sensibilité ne se limite pas à une observation de surface mais de toute l'épaisseur du sol dans le cas de sols superficiels, sinon d'un profil d'au moins 50 cm de profondeur.

Eléments de diagnostic :

- **Pierrosité** : la tarière peut être bloquée par des cailloux, même en faible quantité (teneurs de l'ordre de 15 à 20 % du volume du sol). De ce fait, si la tarière n'est pas bloquée systématiquement après plusieurs essais, le taux d'éléments grossier est forcément inférieur à 50 %. Sinon, il faut observer un profil existant ou creusé à la pioche pour déterminer la quantité de cailloux : un taux d'éléments grossiers ≥ 50 % se distingue facilement par le fait que les cailloux se touchent et peuvent ainsi constituer un squelette très portant.
NB : la pierrosité englobe les graviers et gravillons, puisque les éléments grossiers sont définis comme des particules de diamètre > 2 mm.

- **Texture** : les classes de textures peuvent être estimées au toucher sur la base du tableau en annexe 2.

- **Traces d'hydromorphie** : il s'agit de traces de décoloration claires (perte de fer) et d'accumulation d'oxyde de fer (taches rouille) imprimées dans le sol par la stagnation d'une nappe d'eau (photographies au chapitre 1). Si ces traces recouvrent plus de 10 % de la surface du profil ou de la carotte de sol extraite à la tarière, on considère le sol hydromorphe. La profondeur d'apparition de traces d'hydromorphie témoigne du niveau qu'une nappe d'eau atteint périodiquement dans le sol.

NB : cette observation est surtout utile pour l'établissement de cartes de sensibilité potentielle du sol (voir chapitre 2). Mais, au moment d'une coupe, elle peut également alerter le gestionnaire et l'exploitant sur la lenteur de ressuyage et la sensibilité particulière du sol.

- **Etat d'humidité voire d'engorgement** : si le sol est engorgé, le trou creusé à la tarière se remplit rapidement d'eau jusqu'au niveau de la nappe. Sinon on distingue l'état sec, frais ou humide du sol en fonction des critères de reconnaissance donnés par classe de texture dans le tableau en annexe 2.

Il est possible de mesurer la teneur en eau d'un sol à l'aide d'une sonde capacitive. Cependant la mesure de la teneur en eau volumique doit être modulée en fonction de la texture précise du sol pour déterminer si le sol est sec, frais ou humide (voir annexe 2).

Par exemple, pour une humidité volumique mesurée de 20 %, on pourra conclure à un état engorgé pour un sol sableux ou à un état sec pour un sol argileux. De plus, en dehors de différences texturales aussi contrastées, on pourra aboutir à des erreurs d'interprétation similaires entre des classes de texture proches et difficiles à distinguer au toucher (ex : Argile lourde vs Argile limoneuse, Sable vs Sable limoneux...).

Ainsi compte tenu de cette difficulté pratique, il semble aussi efficace de se fier directement au toucher pour évaluer l'état d'humidité du sol (annexe 2).

Diagnostic final sur toute l'épaisseur du sol :

Sur une profondeur de 50 cm, on distingue au moins deux horizons de sol de propriétés différentes, pour chacun desquels on observe les éléments de diagnostic listés ci-dessus. La sensibilité de chaque horizon est déterminée suivant la clé de diagnostic (chapitre 2).

La sensibilité du sol au tassement correspond à la sensibilité maximale déterminée parmi les différents horizons de sol observés.

Annexe 1

B) Répartition des points d'échantillonnage (Variabilité spatiale) :

La sensibilité du sol au tassement varie dans l'espace suivant les variations de ses propriétés permanentes, de la topographie et du nombre de passages d'engins. Pour déterminer les possibilités de circulation d'engins, on s'intéresse donc à l'ensemble de la surface à parcourir sur les cloisonnements.

Cependant, les possibilités de circulation pouvant être limitées par la sensibilité du sol en un seul ou quelques points de passages, on applique prioritairement la démarche ci-dessus aux zones a priori les plus sensibles : sols à dominante limoneuse, bas de pente (même de pente faible) ou dépressions susceptibles d'être plus humides, places de dépôt ou entrée des cloisonnements où les passages sont les plus fréquents.

Si les zones a priori les plus sensibles sont définies comme praticables (avec ou sans précautions) on vérifie que le reste des cloisonnements l'est également en répartissant plusieurs points de diagnostic sur le parcours. Il n'est pas obligatoire de répéter ces observations pour tous les cloisonnements au sein d'une parcelle, mais des répétitions sur plusieurs cloisonnements sont quand même nécessaires.

Diagnostic final sur toute la surface de coupe :

On dresse un plan rapide des différentes sensibilités relevées sur les surfaces à parcourir dans la parcelle.

- Si le sol est faiblement ou moyennement sensible sur toute la surface à parcourir, on permet l'exploitation en fixant les précautions de passage (pneus larges, tracks, couverture de rémanents) pour les endroits où elles sont nécessaires.
- Si le sol est temporairement trop humide sur une faible partie de la desserte n'empêchant pas le passage dans le reste de la parcelle et que des conditions plus sèches sont prévues pour les jours suivants, on peut entamer l'exploitation par les zones les moins sensibles.
- En revanche, si le sol est trop sensible en des points de passage obligé (entrées de cloisonnements, places de dépôts...), soit on reporte l'ensemble de l'exploitation dans l'attente de conditions plus sèches, soit on envisage des modes de débardage alternatifs.

Estimation croisée de la texture et de l'état d'humidité d'un sol

Texture dominante	Echantillon sec $pF > 3,5$	Echantillon frais $2,5 < pF \leq 3,5$	Echantillon humide $0 < pF \leq 2,5$	Observations
Sable	Peu de différence selon l'état d'humidité de l'échantillon. Un échantillon sec ne tient pas dans la tarière, alors qu'un échantillon humide peut éventuellement se mouler (tel un château de sable)			- Les sables grossiers ($> 0,2$ mm) "gratent" les doigts et sont nettement sensibles au toucher. - Les sables les plus fins ($< 0,1$ mm) sont difficilement sensibles au toucher mais ils restent perceptibles par crissement à l'oreille.
Sable limoneux et sable argileux	La présence de sable est dominante mais l'échantillon laisse une poudre sur les doigts (sable limoneux)	Il se tient un petit peu quant on essaie de le modeler. Il s'effrite facilement (sable limoneux) ou colle légèrement (sable argileux)	Il se disperse très facilement comme le limon, mais "gratte" nettement. Une faible quantité d'argile rend l'échantillon collant à l'état humide, mais il ne se tient pas.	
Limon sableux	L'échantillon a un comportement équivalent aux limons mais il "gratte" quelque peu.			
Limon (limon léger, limon léger sableux, limon moyen sableux, limon moyen)	Il est poussiéreux, pulvérulent, dessèche les doigts ; les petites mottes soumises à la pression éclatent complètement (pulvérisation). L'échantillon ne se modèle pas.	Il est doux au toucher et peu collant (aspect de talc). Il se modèle bien (boudin) mais à la pression entre le pouce et l'index, il s'effrite facilement et forme, au mieux, des écailles sur le pouce.	Il a un aspect savonneux. Il s'écrase totalement entre les doigts et se disperse totalement dans l'eau (perte de consistance, aspect de boue).	
Limon argileux (limon argileux, limon argilo-sableux, limon sablo-argileux)	L'échantillon s'écrase facilement. Sa pulvérisation n'est pas totale (différence avec le limon).	Il est doux au toucher, s'écrase facilement (il ne reste qu'une fine lamelle écaillée entre le pouce et l'index), colle peu, se modèle très bien avec une très bonne tenue du boudin (consistance de pâte à modeler).	Sa tenue est très faible, il se disperse facilement dans l'eau (meilleure tenue pour l'argile limoneuse, proche des argiles).	De même consistance que le limon mais se tenant un peu mieux. Il résiste plus à la pression. On fait difficilement une lamelle entre le pouce et l'index. Alors que cela est plus facile pour l'argile limoneuse.
Argile (argile limoneuse, argile lourde, argile, argile sableuse)	Elle forme des petits blocs très durs et fortement cohérents (ils peuvent parfois être confondus avec des sables grossiers). On peut briser ces blocs en morceaux plus petits mais non le réduire en poudre à la main.	L'échantillon résiste à la pression, il se modèle (consistance de pâte à modeler collante) il est ainsi possible d'en faire un boudin assez fin, il colle fortement aux doigts. Par pression entre le pouce et l'index, on peut former une lamelle d'autant plus fine que l'échantillon est plus argileux.	Il reste plastique, très collant et résiste toujours à la pression. Se déforme mais ne se délite pas (ne se fragmente pas, ne se désagrège pas)	
		Attention toutefois aux échantillons très argileux, frais à humide, la confection d'une lamelle n'est pas toujours possible ; l'argile forme un "masque" lisse sur la peau (absence d' "écailles")		



Sol et sylviculture

Argile

Taille granulométrique : fraction de taille inférieure à 2 μm (on parle aussi de colloïde). De nature très variable, cette fraction peut contenir aussi bien des minéraux argileux, des gels amorphes (hydroxydes de fer par exemple), du quartz, du calcaire, etc.

Argile minéralogique (ou minéraux argileux) : silicates plus ou moins hydratés, le plus souvent de type phyllosilicates : illite, vermiculite, kaolinite, montmorillonite, smectite, etc.

Matériau : roche sédimentaire meuble caractérisée par une dominante de la fraction argileuse. Mais peut contenir aussi des limons, des sables et des éléments grossiers (« argiles » à silex). Leur origine est souvent détritique (argile de décarbonatation par exemple) ou sédimentaire.

Cloisonnement

Couloirs ouverts dans un peuplement ; on distingue les **cloisonnements sylvicoles** pour la réalisation des travaux dans le jeune âge du peuplement (nettoisement, dépressage...) et les **cloisonnements d'exploitation** pour la circulation des engins d'abatage, de débardage ou de débusquage.

Dans un peuplement, les cloisonnements sont parallèles et peuvent être légèrement sinueux. Ils sont caractérisés par :

- un sens (orientation des cloisonnements, dans le sens de la pente s'il y en a une) ;
- une largeur (calculée pour permettre la circulation des machines sans blesser les arbres de part et d'autre, soit une largeur de minimum 4 m pour les cloisonnements d'exploitation) ;
- un espacement ou pas de cloisonnement (écartement entre deux cloisonnements, mesuré d'axe en axe) généralement de 16 à 36 m en exploitation pour que les engins n'aient pas à en sortir.

Déstructuration

Dégradation anthropique du sol conduisant à la perte de sa structure, c'est-à-dire modifiant l'agencement de ses constituants solides en même temps que sa porosité. La déstructuration du sol par tassement rapproche les agrégats du sol, diminue la porosité interstitielle et peut engendrer ou aggraver un déficit de drainage.

Fluage

Phénomène de déformation latérale du sol, à la manière d'un liquide visqueux, sous la contrainte des engins.



Fossé bordier

Tranchée réalisée en bordure de route ou piste forestière, parallèlement à l'accotement, permettant l'évacuation des eaux (soit celles issues de la plate-forme, soit celles issues du peuplement forestier).

Limite de fluidité (ou limite de liquidité d'Atterberg)

Un matériau peut être sous forme solide, plastique ou liquide. La limite de liquidité correspond à la quantité d'eau qui fait passer un échantillon de l'état plastique à l'état semi-liquide (liquide visqueux). Cette limite correspond donc à l'humidité minimale pour laquelle un sol s'écoule sous l'effet de son propre poids.

Limon

Taille granulométrique : fraction comprise entre 2 et 50 μm . Divisé en limons fins (2 – 20 μm) et limons grossiers (20 – 50 μm).

Matériau : formation géologique dont la fraction 2 – 50 μm est majoritaire. Ainsi sont dénommés les «limons des plateaux» d'origine souvent éolienne mais parfois fluviale (présence de galets siliceux en mélange).

Menus bois

Cimes et branches de moins de 7 cm habituellement laissées sur coupe (les rémanents) mais mobilisés le plus souvent à des fins énergétiques (voir rémanents).

Nappe d'eau temporaire (ou nappe perchée)

Nappe existant dans le sol du fait d'un défaut de drainage interne du sol (existence d'un plancher imperméable, arrivée d'eau supérieure aux capacités de drainage de la station, etc.) et alimentée essentiellement par la pluie. Elle est présente dans le sol en période pluvieuse et lorsque la pompe formée par le peuplement est à l'arrêt (en général donc en fin d'automne, en hiver et au début du printemps). Elle disparaît totalement en été (contrairement à une nappe permanente dont le niveau oscille dans le sol mais qui reste présente tout au long de l'année).

Ornière

Trace plus ou moins profonde créée par les roues des engins forestiers (tracteurs et autres) dans les sols. L'importance et la forme de l'ornière dépendent du poids de l'engin en cause, de la nature du matériau et de son taux d'humidité.

pF

Logarithme décimal de la force de rétention de l'eau par le sol (force de succion du sol pour l'eau). Cette force est d'autant plus grande que la granulométrie est plus fine. Cette force est exprimée traditionnellement sous sa forme logarithmique. Cette pression est équivalente à la force de succion que la racine doit exercer pour extraire cette eau.

Un potentiel matriciel de 1 atmosphère (la pression simple de l'air) équivaut à un pF de 3,0. Un pF de 4,2 correspond à une pression (ou une succion) de 16 atmosphères, c'est la valeur retenue internationalement pour définir le point de flétrissement.

1 bar (ou 1 atmosphère) = 100 kPa = 1000 ou 103 cm d'eau = pF 3,0

16 bar = 1600 kPa = 16 103 cm d'eau = pF 4,2.

Porosité

Se définit comme le volume de vide rapporté au volume total du sol. On distingue la macroporosité, constituée des pores larges existants entre les agrégats (fissures, galeries de vers de terre...), de la microporosité qui désigne les pores fins à l'intérieur des agrégats du sol. La microporosité a une capacité de forte rétention voire de remontée d'eau par capillarité. La macroporosité, elle, conditionne fortement les échanges gazeux avec l'atmosphère, la capacité de drainage du sol et la capacité de prospection des racines.

Sable

Taille granulométrique : fraction comprise entre 0,05 et 2 mm (50 à 2000 μm). On distingue les sables fins (50 – 200 μm) et les sables grossiers (200 – 2000 μm).

Matériau : matériau meuble formé majoritairement de grains de la taille des sables (calcaire ou siliceux), tel que celui des dunes ou des plages par exemple.

Sonde

Appareil de mesure exploratoire ou de prélèvement de sol. Les sondes capacitives et tensiométriques permettent de caractériser l'état d'humidité du sol à un instant t par mesure de sa teneur en eau ou de son potentiel hydrique. Parmi les outils de prélèvement, il existe principalement des canes sondes formées d'un tube cylindrique avec une goulotte latérale où l'échantillon de sol est conservé et des tarières pédologiques formées au bout d'une tige cylindrique d'un cylindre ouvert latéralement et terminé à sa partie inférieure par une vrille.

Structure

Mode d'agrégation, d'agencement des particules élémentaires du sol, intégrant leur disposition spatiale ainsi que la nature des liaisons qui les associent. La structure résulte de phénomènes de fissuration du sol lents, physiques ou biologiques, et d'agrégation de ses constituants par le fait de liaisons entre particules chargées électriquement (argiles, humus, oxydes, ions Ca^{2+} et Al^{3+}) De la structure dépendent la macroporosité, la capacité de drainage du sol et la capacité de prospection des racines.

Surface circulée

Surface parcourue par les engins forestiers sur la coupe ; elle comprend la surface des traces de roue plus la surface comprise entre les roues.

Tassement

Le tassement correspond à une diminution du volume d'un matériau par suite d'efforts de compression verticaux. Cette perte de volume est due à une réduction de la porosité du matériau avec, dans un premier temps expulsion de l'air, puis, si la pression se maintient, à une expulsion de l'eau. Il s'ensuit une augmentation de la masse volumique du matériau.

La sensibilité d'un sol au tassement dépend de sa texture et de son taux d'humidité. Aux faibles humidités, l'échantillon est peu sensible aux effets du compactage ; à un taux d'humidité voisin de la limite de plasticité, la déformation apparaît et la compacité augmente, elle atteint son maximum au voisinage de la limite de liquidité. Au delà de la limite de liquidité, l'ensemble de la porosité du sol est saturé d'eau, le matériau devient quasi incompressible mais il peut se déplacer tel un liquide visqueux.

Teneur en eau du sol

Quantité d'eau retenue dans la porosité du sol. Mesurée par séchage de l'échantillon humide en étude à 105 °C.

On distingue :

- L'eau de constitution et l'eau d'imbibition très fortement retenues sur les particules du sol et qui ne sont pas disponible pour les végétaux.
- L'eau capillaire retenue dans les pores les plus fins du sol ($< 8 \mu\text{m}$) par des forces capillaires. L'eau des capillaires les plus fins ($< 0,2 \mu\text{m}$) est peu utilisable par les végétaux contrairement à celle des pores compris entre $0,2$ et $8 \mu\text{m}$ (fraction de l'eau correspondant à l'eau « utile »).
- L'eau de gravité ou eau libre, située dans les pores les plus gros ($> 10 \mu\text{m}$) et qui peut circuler librement dans le sol par les seules forces de gravité (drainage naturel).

Texture

Propriété d'un échantillon de terre dépendant de la taille de ses constituants, autrement dit de sa composition granulométrique. Elle s'estime généralement au toucher. Les appellations de texture sont données en référence à un triangle des textures (triangle dit de Jamagne, triangle USDA, triangle du GEPPA, voir page suivante).

Plan d'exploitabilité

Plan décrivant les méthodes d'exploitation utilisables pour chaque parcelle dans un massif forestier, en fonction de la sensibilité du sol, des bois à exploiter, du relief... ; vient en complément d'un plan de gestion ou aménagement.

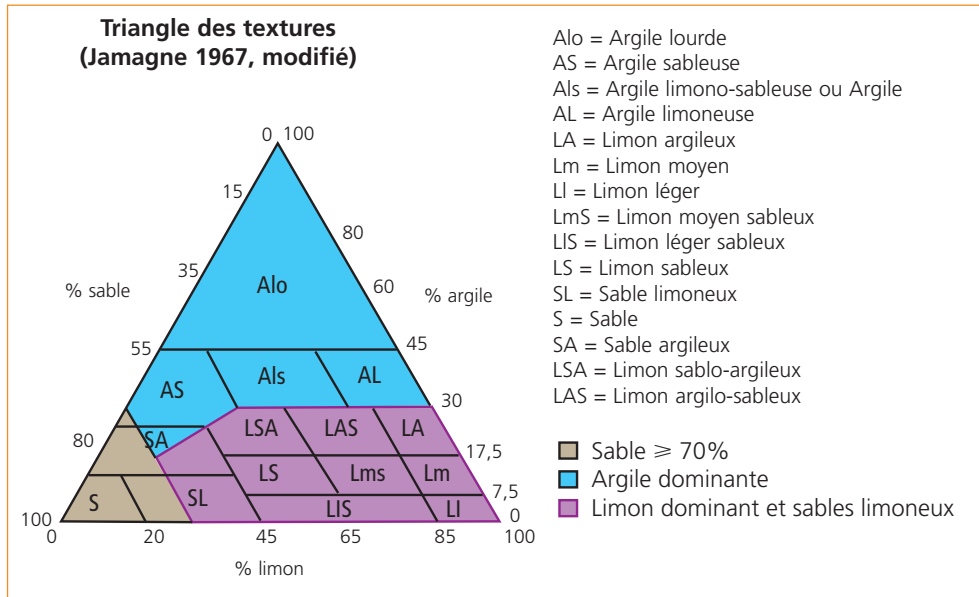
Rémanents

Sous-produits restant sur le parterre de la coupe après son exploitation. Il s'agit principalement de petites branches d'un diamètre inférieur ou égal à 7 cm sur écorce (voir

aussi Menus bois).

Unité de vidange

Partie de forêt, regroupant des parcelles ou parties de parcelles à mode de débardage homogène (tracteur, câble court, câble long) et présentant un volume de bois à récolter suffisant pour en faciliter la commercialisation.



Exploitation forestière et matériel

Abatteuse (ou combiné d'abattage ou machine de bûcheronnage)

Engin doté d'une grue au bout de laquelle se trouve une tête de bûcheronnage réalisant l'abattage, l'ébranchage, le tronçonnage des arbres puis le rangement des produits façonnés ; le cubage des arbres et billons est réalisé en même temps que ces différentes opérations ; cette machine est montée en grande majorité sur roues (4x4, 6x6 ou 8x8), parfois sur base chenillée.

Bogie (ou boggie)

Dans le cas des machines forestières, ensemble de deux roues motrices montées sur un balancier.

Câble aérien (téléphérique)

Système d'exploitation forestière pour une vidange des bois par voie aérienne ou semi traînée.

Chenilles

Tuiles métalliques ou en caoutchouc. Celles-ci permettent d'atteindre une pression au sol plus faible : 0,3 à 0,4 bar, avec des chenilles pouvant aller jusqu'à 80 cm de large.

Cheval de fer

Petit engin motorisé à chenilles en caoutchouc souples équipé d'un treuil, et pouvant être équipé d'une remorque pour le débardage de billons ou d'un trinquéballe pour de petites grumes...

Coût de revient

Montant des charges nécessaires à l'acquisition ou à la production d'un bien ou d'un service. Il est généralement composé de charges fixes (amortissement, intérêts, assurances), de charges variables (carburant, huile, consommables, entretien...) de charges de personnels, et de charges diverses. Il ne contient pas la marge bénéficiaire souhaitée par l'entreprise. (Voir prix de prestation)

Débardage

Transfert des bois courts par portage entre la zone où ils ont été abattus et un lieu accessible aux camions. Dans les études de temps, le débardage correspond à la phase de travail où le transfert des bois se fait par une machine en mouvement.

Débusquage

Transfert des bois, généralement longs, par traînage entre la zone où ils ont été abattus et un lieu accessible aux camions. Dans les études de temps, le débusquage correspond à la phase de travail où les bois sont halés jusqu'à la machine, celle-ci étant stationnaire.

Débusqueur ou débusqueuse (en anglais skidder)

Engin sur roues (4X4, plus récemment 6X6) généralement doté d'un treuil permettant le débusquage des bois par traînage ; depuis quelques années, sont apparus des débusqueurs équipés d'un grappin (portée 2-3 m) ou d'une grue (portée 5-7 m), mais toujours dotés d'un treuil.

Grue (de débardage)

Ensemble de bras articulés actionnés par des vérins afin de manœuvrer une charge ; une grue forestière réalise plusieurs opérations : atteindre les bois, saisir grâce à un grappin, soulever, manœuvrer, déposer la charge ; la portée d'une grue montée sur porteur est de 5 à 8 m.

Indice de Productivité Câble (IPC)

Rapport du prélèvement réalisé sous la ligne de câble ramené à la longueur de cette dernière. L'IPC est donc exprimé en m³/ml. Pour les câbles-mâts, l'IPC doit être au

moins de 0,5 m³/ml pour atteindre des objectifs de productivité et donc de rentabilité acceptables.

Ce descripteur est utilisé par les câblistes pour déterminer le prix de prestation. Il n'est pas un guide direct pour le sylviculteur en terme de prélèvement. En effet, si la ligne est obligée de traverser une zone en dehors de la coupe cela va baisser l'IPC quel que soit le prélèvement effectué sur la coupe.

Méthode d'exploitation

Façon dont les bois sont exploités ; on distingue quatre grandes méthodes d'exploitation : bois en courtes longueurs (billons ou rondins), bois en grandes longueurs (grumes), arbres entiers (non ébranchés), bois en plaquettes ; il existe des **méthodes « mixtes »** lorsque deux méthodes sont pratiquées ensemble sur un même chantier (par exemple : façonnage de grumes dans les réserves et billonnage des brins de taillis).

Pince (de débardage) (clam-bunk en anglais)

Pince montée sur le berceau d'un porteur à la place des ranchers et s'ouvrant vers le haut ; les bois en grande longueur sont chargés dans la pince à l'aide de la grue du porteur ; une fois la pince fermée grâce à des vérins, les bois sont semi-portés et leur extrémité traîne au sol, d'où le terme de **semi-porteur** pour désigner cet ensemble porteur plus pince de débardage.

Pneu forestier

Un pneu se caractérise par ses dimensions (largeur et hauteur du boudin, diamètre d'accrochage sur la jante), sa résistance à la charge (données autrefois en nombre de plis, indiquées maintenant en PR ou Ply Rating) et son profil (sculptures de la bande de roulement).

Exemples de marquage d'un pneu :

18.4 – 30. PR 16

18.4 : largeur du pneu en pouces (= 467 mm)

30 : diamètre d'accrochage sur la jante en pouces

PR 16 : équivalent à 16 « plis », permet de calculer sa capacité de charge

600/55-26.5

Pneu de 600 mm de large

Ratio Hauteur/Largeur du boudin = 0,55 (pneu large si inférieur à 0,8)

Diamètre d'accrochage à la jante de 26,5 pouces

Porteur

Engin, parfois aussi appelé débardeuse, monté sur roues (8X8 ou 6X6) doté d'un plateau et d'une grue hydraulique permettant le débardage des bois par portage.

Prix de prestation

Expression monétaire de la valeur d'échange d'une unité de bien ou de service. Le prix est le résultat de la rencontre de l'offre et de la demande sur un marché. (Voir coût de revient).

Rancher

Élément métallique, cylindrique ou parallélépipédique, servant au maintien latéral de la charge sur un porteur ou une remorque.

Système d'exploitation

Ensemble des processus de récolte des bois (méthode, équipement, organisation) depuis l'abattage des arbres sur pied jusqu'à la livraison en usine (scierie, papeterie...).

Système mixte de vidange

Organisation de la vidange avec un engin pour le débusquage et un autre pour le débardage. Par exemple le cheval de fer pour débusquer les tiges jusqu'au cloisonnement le plus proche et un porteur pour débarder les bois jusqu'à la place de dépôt

Tracks (mot anglais signifiant « chenilles »)

Semi-chenilles métalliques que l'on peut monter sur les deux roues d'un même bogie afin d'augmenter la surface de contact au sol et donc de réduire la pression qui s'y exerce.

De	à	multipliez par environ
bar	kg/cm ²	1
kg/cm ²	bar	1
bar	Pa	1.10 ⁵
kg/cm ²	Pa	1.10 ⁵
Pa	bar	1.10 ⁵
Pa	kg/cm ²	1.10 ⁵
100 kPa	kg/cm ²	1

Principales références bibliographiques

- **AFOCEL, CTBA, ONF, Entrepreneurs des Territoires, FNCOFOR et FNB, 2003.** Laissez une bonne impression ! Guide de gestion environnementale des chantiers forestiers (disponible sur les sites internet des partenaires).
- **Allegrini C., Depierre A. (coord.), 1999.** Les accès dans la parcelle. Thise : Société forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est. 16 p.
- **ADEME, 2006.** La récolte raisonnée des rémanents en forêts. Coll. "Connaître et agir". Angers : ADEME. 36 p. (<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=-1&cid=96&m=3&id=33691&ref=12441&nocache=yes&p1=111>)
- **ARMEF, CTBA, IDF, 1993.** Manuel d'exploitation forestière. Tome 1. Paris : CTBA, ARMEF. 442 p.
- **AUGE V., 2007.** Comment réduire l'impact de l'exploitation forestière (et des travaux mécanisés) sur le réseau hydrographique ? Le schéma de desserte et d'exploitabilité « orienté eau » Programme EU LIFE "Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée".
- **Baden-Württemberg (Land), 2004.** Richtlinie des Landesforstverwaltung Baden-Württemberg zur Feinerschließung von Waldbeständen. 33 p.
- **Bartoli M., 1999.** Débardage et sylviculture. Revue forestière française, vol. 51, n° 1, pp. 104-105
- **Bartoli M., 2002.** L'alliage sylviculture/exploitation; réflexions à propos des cloisonnements d'exploitation ou "abatteuse, cheval ou câble ? La forêt privée, n°264, pp. 24-28
- **Bartoli M., 2002.** Le débardage par câble en plaine, un outil de protection des sols. Arborescences, n° 95, pp.
- **Bartoli M., Schmitt A., 2004.** Plan d'exploitabilité pour la forêt régionale du Fleckenstein. ONF.
- **Bartoli M., Lefèvre Y., Lamandé M., Richter C., Durand P., 2003.** L'effet de l'exploitation forestière sur les sols. Journées techniques ONF Lorraine, 22 et 23 mai 2003.
- **Bartoli M., 2005.** Quelques techniques de protection des arbres lors des exploitations. Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 9, pp. 70-72
- **Bartoli M., Pischedda D., Chagnon J.L., 2006.** Pour une exploitation forestière respectueuse des sols. Chantiers de démonstration ; Rapport final. DGFAR, ONF, CTBA. 75 p., ann.
- **Bergkvist I., 2002.** Timber extracted without a trace. SkogForsk News, n° 2, pp. 4-5

- **Breman P., et al., 1997.** Cahier de recommandations à l'usage des sylviculteurs pour une approche paysagère de la production en forêt morvandelle. Dijon : Préfecture de la région Bourgogne. 104 p.
- **Butora A., Schwager G., 1989.** Dégâts d'exploitation dans les peuplements d'éclaircie. Birmensdorf : Institut fédéral de recherches forestières. Rapport, n° 288, 41 p.
- **Cacot E., 2001.** Exploitation forestière et débardage : pourquoi et comment réduire les impacts ? AFOCEL Informations-forêt, n° 4, fiche n° 637, 6 p.
- **Cacot E., 2006.** Observatoire des impacts de l'exploitation forestière. AFOCEL informations- forêt, n° 3, fiche n° 733
- **Cacot E., Pischedda D., 2007.** D. Reducing impacts of logging operation: looking for practical solutions. 3rd Forest Engineering Conference, Mont Tremblant, Québec Canada.
- **Cemagref, CRPF Rhône-Alpes, ONF Rhône-Alpes, 2006.** Guide des sylvicultures de montagne : Alpes du Nord françaises. 278 p.
- **Chièze F., Sardin T., 2005.** La désignation des arbres objectifs. Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 9, 1pp. 9-22
- **Cuchet E., Morel P.J., 2001.** Bûcheronnage mécanisé des perchis feuillus, de la fiction à la réalité : pourquoi mécaniser le bûcheronnage ? Arborescences, n° 91, pp. 35-38
- **Diserens E., Spiess E. 2004.** Interactions entre train de roulement et sol en grandes cultures. Rapport de la FAT n° 613, 16p
- **Emeyriat R., 2005.** L'utilisation des combinés spécialisés en premières éclaircies de pin maritime. Le journal de la mécanisation forestière, n° 52, pp. 17-19
- **Fort C., 1999.** L'eau et la forêt. Bulletin technique de l'ONF, n° 37, 235 p.
- **Horn R., Vossbrink J., Becker S. 2004.** Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. Soil & Tillage Research 79 : 207-219
- **Lamandé M., Ranger J., Lefèvre Y., 2005.** Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols. Les dossiers forestiers de l'ONF, n° 15, 131 p.
- **Lavaupot G., 2004.** Pratique des cloisonnements d'exploitation dans le triage de Butten (Bas-Rhin). 2 p.
- **Matthies D., Ziesak M., Krammer J., 2006.** Le logiciel ProFor, un outil de prévention pour juger de la praticabilité des sols lors de l'exploitation forestière. Les rendez-vous techniques de l'ONF, n° 14, pp 3-8

Principales références bibliographiques

- **Moberg L., Nordfjell T., Gabrielsson L., 1988.** A model for analysing self-employed woodlot owners using small-scale equipment in thinnings. Small scale forestry, n° 2, pp. 7-14
- **ONF, 2005.** Dossier « Tassements du sol dus à l'exploitation forestière » Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 8 pp 23-51
- **ONF, 2008.** Dossier "Exploitation respectueuse des sols". Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 19, pp. 23-54
- **ONF Direction territoriale Alsace, 2004.** Les cloisonnements d'exploitation. Fiche technique sylviculture, n° 1, 2 p.
- **ONF Direction territoriale Bourgogne - Champagne-Ardenne, 2003.** Les cloisonnements sylvicoles, les cloisonnements d'exploitation. Fiches techniques. 16 p.
- **ONF Direction territoriale Lorraine, 2005.** Le hêtre en Lorraine : guide des sylvicultures. 88 p.
- **Owende P.M., Tiernan D., Ward S.M., Lyons J., 2003.** Is there a role for cable extraction on low gradient sensitive sites ? In Actes du colloque FAO d'Ossiach, juin 2001, U. Arzberger et M. Grimoldi ed., pp. 227-234
- **Palluet B., Vautherin P., 1999.** Débardage de perches résineuses par traction animale : une méthode rentable. CTBA info, n° 76, pp. 7-10
- **Paul (de) M.A., Bailly M., 2005.** La compaction des sols forestiers : définition et principes du phénomène. Forêt Wallonne, n° 76, pp. 39-47
- **Paul (de) M.A., Bailly M., 2005.** Effets de la compaction des sols forestiers. Forêt Wallonne, n° 76, pp. 48-57
- **Pischedda D., 1997.** Caractéristiques des techniques de l'exploitation forestière. Paris : CTBA. 35 p.
- **Pischedda D., 1998.** Le câble un outil pour la gestion durable des forêts de montage. 10 fiches techniques. Lycée Agricole de Poisy.
- **Pischedda D., Bartoli M. 2007.** Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt. FCBA-Info - juillet 2007.
<http://www.fcbainfo.fr/pages/page161.php>
- **Pischedda D., Brêthes A., Ranger J., 2009.** Enjeux et gestion du risque de tassement des sols en forêt. Colloque INRA - Le tassement un risque majeur pour les sols ? SIMA 2009
- **Richter C., Durand P.E., 2005.** Les cloisonnements d'exploitation : pourquoi et comment les protéger ? Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 8, pp. 48-49

- **Risberg S., 1988.** Piraya mini-skider. Small scale forestry 2, 1-6
- **Rotaru C., 1985.** Les phénomènes de tassement du sol forestier dus à l'exploitation mécanisée des bois. Revue forestière française, vol. 37, n° 5, pp. 359-370
- **Rouchon R., Chagnon J.L., Bartoli M., 2005.** Un câble dans... une peupleraie savoyarde. Le journal de la mécanisation forestière, n° 49, p. 17
- **Sardin T., 2008.** Chênaies continentales. Coll. "Guide des sylvicultures. Paris : ONF. 455 p.
- **Thiébaud C., 2004.** Cloisonnements d'exploitation dans le cadre d'une gestion durable des forêts : le cas de la FD de la Trappe (Orne). Rendez-vous techniques ONF, n° 3, p. 61
- **Ulrich E., 2002.** L'exploitation par câble en plaine. La forêt privée, n° 265, pp. 18-27
- **Venet J., 1956.** La mécanisation des exploitations forestières : difficultés, solutions. Revue forestière française, n° 6, pp. 388-399
- **Viéban S., Breman P., 1998.** Intégration paysagère des opérations d'exploitation forestière. Les fiches environnement des Forestières La Rochette. 8 p.
- **Wehner T., 2001.** Mechanized Harvesting Systems in Permanent Stands and Technology. In Proceeding for the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, Seattle/USA, pp. 250-253
- **Wilpert K.v & Schäffer J. 2006.** Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. European Journal of Forest Research 125/2:129-138
- **Wood M.J., Carling P.A., Moffat A.J., 2003.** Reduced ground disturbance during mechanized forest harvesting on sensitive soils in the UK. Forestry, vol. 76, n° 3, pp. 345-361

Guide pratique

Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt

La protection des sols est un sujet au cœur des préoccupations du sylviculteur et du gestionnaire forestier. En effet, le sol conditionne la production de la forêt ; il est également le support de la biodiversité. C'est donc un capital à protéger et l'ensemble des acteurs de la sylviculture et de l'exploitation des bois sont concernés.

Si les pédologues et quelques spécialistes de l'exploitation forestière en sont conscients depuis plusieurs années, ce n'est que récemment que des études s'intéressent aux interactions physiques entre le sol et la circulation des engins forestiers sur les parcelles. Il en est de même des impacts aux sols des machines ou des systèmes de mobilisation. Ce guide est ainsi le résultat des échanges entre ces diverses disciplines.

Après une présentation de l'état des connaissances sur la sensibilité des sols et les conséquences du tassement lié aux passages des engins forestiers, nous proposons une série d'actions pour limiter les impacts de la mécanisation et optimiser ainsi la mobilisation des bois.

Ces réflexions sur l'exploitation respectueuse des sols et de la forêt sont ici traitées de manière multi disciplinaires, et visent à dégager des solutions pratiques souvent de bon sens et parfois innovantes. Les cloisonnements et l'utilisation du câble aérien en plaine en font parties.

ISBN : 978-2-84207-334-3



9 782842 073343



PEFC
PEFC10-4-4



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE



Office National des Forêts

Siège social

10 avenue de Saint-Mandé
75012 Paris
Tél. : 01 40 19 49 19
Fax : 01 43 40 85 65
www.fcba.fr

Direction Générale

2, avenue de Saint-Mandé
75570 Paris Cedex 12
Tél. 01 40 19 58 00
www.onf.fr

Certifié ISO 9001 et ISO 14001