

**La conciliation de l'exploitation forestière et du respect des sols :  
un exemple concret en Picardie.**



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

Photographie en page de couverture : Laurent Renouf

**La conciliation de l'exploitation forestière et du respect des sols :  
un exemple concret en Picardie.**

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**



FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE DE LA FIF

Formation des Ingénieurs forestiers de l'ENGREF Agro Paris Tech	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : La conciliation de l'exploitation forestière et du respect des sols : un exemple concret en Picardie	Mots clés : exploitation forestière, sols, tassement
AUTEUR : Laurent Renouf	Promotion : FIF 17
Caractéristiques : 1 volume, 91 pages, 43 figures, bibliographie	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE DU CONTRACTANT : Office national des forêts		
Nom du responsable : François LEHMANN Fonction : Responsable forêt, agence régionale de Picardie		
Nom du correspondant ENGREF (pour un stage long) : Yves EHRHART		
Tronc commun <input type="checkbox"/>	Stage en entreprise <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Option <input type="checkbox"/>	Stage à l'étranger <input type="checkbox"/>	
D. d'approfondissement <input checked="" type="checkbox"/>	Stage fin d'études <input checked="" type="checkbox"/>	
Date de remise : 26 / 06 / 09		
Contrat avec Gref Service Nancy : <input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON		

SUITE À DONNER (réservé au service des études)

- Consultable et diffusable
- Confidentiel de façon permanente
- Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable

#### Résumé :

Le tassement des sols est un phénomène physique provoqué par les engins forestiers lors des opérations de récolte qui peut entraîner des dépérissements dans les peuplements en place et des problèmes de régénération. L'objectif de ce stage était, sur trois massifs forestiers picards dont la sensibilité des sols est connue, de comprendre les causes de la circulation anarchique des engins et de définir les préconisations techniques visant à limiter les dégâts qu'ils provoquent. Après une phase de cartographie, cinquante chantiers d'exploitation ont été étudiés en détail afin de comprendre les causes du phénomène et d'y trouver des solutions adaptées.

#### Abstract :

Soil compaction is a physical phenomenon caused by heavy logging vehicles during harvesting processes which can lead to problems for regeneration and wiltings in adult stands. The purpose of this training was, for three well known soil-sensitive forests in Picardie, to understand why did the logging vehicles get anarchically around the forest plots, and to find technical solutions in order to limit the damages they could cause. After a cartography stage, fifty harvesting sites were studied in order to understand the causes and define adapted solutions.

## REMERCIEMENTS

Beaucoup de personnes se sont mobilisées autour de cette étude et m'ont apporté une aide précieuse.

Je tiens en premier lieu à remercier Brigitte Pilard-Landeau, François Lehmann et Yves Ehrhart pour leur encadrement et leur disponibilité tout au long de ce stage.

Je souhaite également remercier toute l'équipe de la direction forêt de la direction territoriale Île-de-France – Nord – Ouest, pour son accueil et son aide, tant au bureau que sur le terrain : Sarah Colas, Gwénaëlle Gibaud, Brice Martin, Claude Blet-Charaudeau, Ludovic Chabaud, Pierre Demangeat, Dominique Hergibo, Roland Mammez et Jérôme Piat. Merci également à Émeric Dioudonnat et Serge Raoul de l'agence régionale de Picardie et à Jean-Pierre Renaud pour leur aide.

Merci à tous les membres du comité de pilotage du stage qui en ont suivi toutes les étapes : Claudine Richter, Alain Brêthes, Didier Pischedda, Pierre Miller, Manuel Nicolas...

Régine Touffait, Louis Gobron et Jean-Marc Copeau, responsables des unités territoriales de Retz, Saint-Gobain et Saint-Michel ainsi que tous leurs agents se sont mobilisés pour m'apporter toute l'aide nécessaire. Cette étude n'aurait pas été envisageable sans eux.

Enfin j'adresse mes plus vifs remerciements aux équipes de recherche des centres INRA d'Orléans, Reims, Avignon et Nancy, et plus particulièrement à Odile Duval, Pauline Défossez, André Chanzy, Gui Richard et Yves Lefèvre qui ont apporté leur contribution à mon travail et m'ont permis d'explorer de nouvelles pistes.

# SOMMAIRE

Remerciements .....	7
Sommaire .....	8
Table des figures .....	10
Index des sigles .....	12
Introduction .....	13
<b>PARTIE 1 : Rappels sur le tassement des sols et l'exploitation forestière.....</b>	<b>14</b>
1.1 Qu'est-ce qu'un sol ?.....	14
1.2 Rappels sur les phénomènes de tassement des sols.....	14
1.2.1 Explication physique du phénomène.....	14
1.2.2 Les conséquences du tassement.....	15
1.2.3 La restauration des sols tassés .....	17
1.3 Le développement de la mécanisation forestière, principale cause du tassement des sols....	18
1.4 Les solutions pour prévenir le tassement.....	19
1.4.1 Les cloisonnements d'exploitation .....	19
1.4.2 L'émergence de systèmes alternatifs pour lutter contre le tassement.....	20
1.5 L'avancée des recherches dans le domaine agricole .....	20
<b>PARTIE 2 : Contexte, objectifs, méthode adoptée pour cette étude .....</b>	<b>22</b>
2.1 Contexte.....	22
2.1.1 Les orientations politiques de l'ONF .....	22
2.1.2 Présentation du guide Prosol, pour une exploitation respectueuse des sols .....	22
2.1.3 Le contexte forestier en Picardie .....	23
2.1.4 Les risques de tassement des sols en Picardie .....	24
2.2 Problématique du stage, résultats attendus .....	24
2.3 Méthode.....	25
2.3.1 Phase préliminaire : choix de la zone d'étude .....	25
2.3.1.1 Combien de massifs retenir ? .....	25
2.3.1.2 Présentation de la forêt domaniale de Saint-Michel .....	25
2.3.1.3 Présentation de la forêt domaniale de Saint-Gobain Coucy-Basse .....	26
2.3.1.4 Présentation de la forêt domaniale de Retz .....	26
2.3.2 Première phase : identification des différents niveaux de sensibilité .....	26
2.3.2.1 Présentation des données disponibles.....	26
2.3.2.2 Traduction des données de départ .....	26
2.3.2.3 Création des cartes.....	27
2.3.2.4 Validation des cartes.....	27
2.3.3 Deuxième phase : Compréhension des causes de dégradation des sols .....	27
2.3.3.1 But de la démarche .....	27
2.3.3.2 Les facteurs potentiellement explicatifs à relever .....	27
2.3.3.3 Le protocole de mesures sur le terrain.....	29
2.3.3.4 Le choix des chantiers à analyser .....	31
2.3.3.5 L'analyse des données de terrain.....	32
2.3.4 Troisième phase : définition de préconisations visant à prévenir les dégâts au sol.....	33
<b>PARTIE 3 : Résultats : caractérisation du risque de dégâts au sol.....</b>	<b>34</b>
3.1 Hiérarchisation de la sensibilité des stations .....	34
3.1.1 Analyse critique des cartes de sensibilité établies .....	34
3.1.2 Approfondissement des critères de cartographie.....	36
3.1.3 Comparaison des deux méthodes de cartographie.....	37
3.2 Rapide bilan des pratiques d'exploitation forestière rencontrées .....	38
3.2.1 Homogénéité des systèmes d'exploitation sur l'échantillon .....	38
3.2.2 Un bilan préoccupant concernant la surface circulée moyenne.....	38
3.3 Analyse des causes du taux élevé de circulation et préconisations associées .....	40



3.3.1	L'intérêt des cloisonnements .....	40
3.3.1.1	La surface circulée est plus importante dans les parcelles non cloisonnées .....	40
3.3.1.2	Quelques règles à rappeler concernant l'ouverture des cloisonnements .....	41
3.3.1.3	Le cas problématique des peuplements résineux.....	41
3.3.2	La nécessité d'une matérialisation correcte des cloisonnements.....	42
3.3.2.1	La surface circulée dépend fortement de la visibilité du réseau de cloisonnements .	42
3.3.2.2	Proposition d'un outil pour diagnostiquer la visibilité du cloisonnement et préconisations associées .....	44
3.3.2.3	Illustration d'une situation à risque où l'intervention du forestier est primordiale ...	47
3.3.3	Impact d'une largeur d'entraxe de 24 mètres sur le non-respect des cloisonnements...	47
3.3.4	La vidange des très gros bois : une opération à risque pour les sols .....	48
3.3.4.1	La praticabilité des cloisonnements influe sur la surface circulée .....	48
3.3.4.2	La vidange des très gros bois pourrait expliquer les perturbations les plus sévères..	51
3.3.4.3	Des mesures peuvent être prises pour prévenir ce phénomène .....	53
3.3.5	Quelques pistes pour améliorer la communication entre le gestionnaire et l'exploitant	55
3.4	Etude d'un cas concret : le portefeuille de la forêt de Retz.....	56
3.4.1	Synthèse des résultats de l'étude : prévision du risque de dégradation du sol lors de l'exploitation .....	57
3.4.2	Décomposition du risque « sol » sur le portefeuille .....	58
3.4.2.1	Répartition des coupes par classe de sensibilité .....	58
3.4.2.2	Bilan des pratiques de cloisonnement en forêt de Retz .....	59
3.4.2.3	Les risques liés au type de produits exploités.....	60
3.4.3	Synthèse de ces résultats, préconisations : .....	60
PARTIE 4 : Bilan, limites, perspectives de l'étude .....		63
4.1	Bilan .....	63
4.1.1	Récapitulatif des résultats : démarche à adopter pour réduire les risques de dégâts au sol sur un massif.....	63
4.1.1.1	Identifier les zones sensibles .....	63
4.1.1.2	Offrir aux opérateurs les meilleures conditions de visibilité possibles .....	63
4.1.1.3	Maîtriser la sortie des produits à risque.....	63
4.1.1.4	Garder une vision globale de la problématique : .....	63
4.1.2	L'intérêt de la méthode.....	63
4.1.3	Les résultats correspondent-ils aux objectifs initiaux ?.....	64
4.1.4	Réflexions sur les possibilités de généralisation de cette étude .....	64
4.2	Limites de l'étude .....	66
4.2.1	Les incertitudes scientifiques .....	66
4.2.2	Le problème des diagnostics après coupe.....	66
4.2.3	L'absence d'une étude économique .....	67
4.3	Perspectives .....	67
4.3.1	Quel avenir immédiat pour cette étude ? .....	67
4.3.2	Vers une cartographie dynamique .....	68
4.3.3	Vers une meilleure compréhension des causes de destruction des cloisonnements .....	68
Conclusion.....		69
Références bibliographiques .....		70
Liste des contacts.....		73
Annexes.....		74
Annexe 1 : légende des cartes Maucorps .....		75
Annexe 2 : exemple de fiche de martelage utilisée pour la récupération des données.....		78
Annexe 3 : Tableau de données.....		79
Annexe 4 : cartes obtenues.....		86
Annexe 5 : principaux engins rencontrés dans l'échantillon des parcelles étudiées .....		93
Annexe 6 : illustration des différentes classes de perturbation du protocole de terrain .....		94
Annexe 7 : illustration de l'indice de visibilité du cloisonnement .....		95
Annexe 8 : liste complète des parcelles du portefeuille séparées en populations distinctes .....		96

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Explication physique du phénomène de tassement du sol (d'après Bailly et de Paul, 2005). .....	14
Figure 2 : Augmentation de la densité apparente du sol (bulk density) en fonction du nombre de passages d'engin (number of skidding cycles) à trois profondeurs de sol (soil depth) différentes (d'après McNabb et al, 2001). .....	15
Figure 3: Impact du tassement sur la porosité du sol (d'après Bailly et de Paul, 2005). .....	15
Figure 4 : Apparition de l'encre du châtaignier due au tassement des sols. Photographie : <a href="http://www.crfp-poitou-charentes.fr">www.crfp-poitou-charentes.fr</a> . .....	16
Figure 5 : Impact du tassement des sols sur l'enracinement des jeunes arbres. Photographie : Alain Brèthes. .....	17
Figure 6 : Quelques engins forestiers classiques. Porteur et débusqueur en forêt de Retz (photographies : Laurent Renouf), abatteuse (photographie : Pascal Frbezar, ONF). .....	18
Figure 7 : Impact au sol de deux engins de poids différents à pression de contact égale (d'après Diserens et Spiess, 2004). .....	19
Figure 8 : Rendement, ruissellement et dénitrification dans une plantation de betteraves en fonction de la masse volumique du sol (d'après le rapport du projet « dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement »). .....	21
Figure 9 : Un exemple des orientations de gestion données par le guide Prosol, la prise en compte de l'aspect dynamique de l'humidité du sol (Adapté du guide Prosol édité par le FCBA). .....	23
Figure 10 : La couverture forestière en Picardie (d'après le SRA de Picardie). .....	24
Figure 11 : De gauche à droite, dégâts en parcelle, sur piste et sur place de dépôt. Photographies : Laurent Renouf. .....	24
Figure 12 : Répartition en classes de perturbation des observations visuelles (d'après le protocole harmonisé européen AIR3 CT94 2097). .....	30
Figure 13 : Mode opératoire des relevés de terrain dans une parcelle non cloisonnée et dans une parcelle cloisonnée (d'après Cacot, 2006). .....	31
Figure 14 : Répartition des parcelles de l'échantillon par forêt. .....	31
Figure 15 : Répartition des parcelles de l'échantillon par type de coupe. Les classes de 1 à 5 correspondent à des opérations similaires dans des peuplements de plus en plus âgés. .....	32
Figure 16 : Carte de la sensibilité des sols en forêt de Saint-Gobain d'après les classes du guide Prosol .....	34
Figure 17 : Exemple d'une anomalie dans une carte obtenue d'après les critères Prosol. .....	35
Figure 18 : Récapitulatif de la seconde méthode de cartographie. .....	36
Figure 19 : Comparaison des deux cartes de la forêt de Saint-Gobain. .....	37
Figure 20 : Un porteur léger utilisé par un exploitant forestier de l'Aisne. Photographie : SARL Mont-frères, Saint-Nicolas-au-Bois, Aisne. .....	38
Figure 21 : Notation de la performance écologique des chantiers selon l'étude AFOCEL (d'après Cacot, 2006). .....	39
Figure 22 : Répartition des chantiers dans les notes de qualité pour le critère « pourcentage de surface circulée ». .....	39
Figure 23 : Représentation de la surface non circulée (zn ordonnée) en fonction des modalités de cloisonnement de la parcelle (en abscisse). Le test de Duncan montre une différence significative entre la population 1 d'un côté et les populations 0 et 2 de l'autre. .....	40
Figure 24 : Évolution de la surface circulée en fonction du prélèvement à l'hectare pour les parcelles cloisonnées et non cloisonnées. .....	41
Figure 25 : Représentation de la surface non circulée (en ordonnées) en fonction de la visibilité du cloisonnement. .....	43
Figure 26 : Représentation du taux de respect des cloisonnements en fonction de la visibilité des cloisonnements, résultats de l'ANOVA montrant la différenciation de deux populations (visibilités 1 et 2 d'un côté, 3 et 4 de l'autre. .....	43
Figure 27 : Diagramme de caractérisation de la capacité du milieu à faire ressortir le cloisonnement .....	45
Figure 28 : Tableau de caractérisation de la qualité du marquage des cloisonnements. .....	45

Figure 29 : Photographie illustrant le défaut de visibilité des cloisonnements dans la parcelle 722 de la forêt de Retz. Photographie : Laurent Renouf.....	47
Figure 30 : Pourcentage de perturbations sur les cloisonnements dans les parcelles cloisonnées. ....	49
Figure 31 : Surface circulée moyenne dans les différentes populations de parcelles cloisonnées. ....	50
Figure 32 : Schéma présentant les risques de circulation anarchique en cas de destruction des cloisonnements. A gauche : perturbation accidentelle, à droite : perturbation continue.....	50
Figure 33 : Résultats du test BRT. La variable « pourcentage de gros bois » (GB) prédomine largement. Les abréviations des autres variables sont expliquées en annexe 3.....	51
Figure 34 : Quelques caractéristiques de coupe ayant rapport aux très gros bois dans les différentes populations de parcelles. ....	52
Figure 35 : Perturbation sévère sur un cloisonnement de la parcelle 1013 en forêt de Saint-Gobain. Photographie : Laurent Renouf. ....	53
Figure 36 : Un exemple de plan explicatif d'intervention (d'après Lavaupot, 2004, modifié).....	55
Figure 37 : Proposition d'amélioration des plans de circulation sur une parcelle à exploiter (ici parcelle 314 de la forêt de Retz). ....	56
Figure 38 : Diagramme d'aide à la décision pour prévenir les dommages au sol. ....	58
Figure 39 : Tableau de répartition des parcelles du portefeuille selon la sensibilité des sols. ....	59
Figure 40 : Quelques résultats du diagnostic de visibilité des cloisonnements sur un échantillon de vingt parcelles.....	59
Figure 41 : Présentation des volumes de TGB martelés dans quelques parcelles du portefeuille. Comparaison avec la population des parcelles les plus endommagées de l'étude. ....	60
Figure 42 : Un chemin de randonnée conventionné en forêt de Retz, après exploitation d'une parcelle adjacente. Photographie : Laurent Renouf. ....	62
Figure 43 : Essai de cartographie de la sensibilité des sols sur la forêt domaniale de Vauclair à partir des données de station. ....	65

## INDEX DES SIGLES

AFOCEL : association Forêt cellulose

ANOVA : *analysis of variance*

BRT : *boosted regression tree*

CRPF : centre régional de la propriété forestière

DST : dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement

EG : éléments grossiers

ETF : entrepreneur de travaux forestiers

ETP : évapotranspiration potentielle

FCBA : Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement

FD : forêt domaniale

INRA : Institut national de la recherche agronomique

IFN : inventaire forestier national

MANOVA : *multiple analysis of variance*

ONF : Office national des forêts

SIG : système d'information géographique

SRA : schéma régional d'aménagement

TGB : très gros bois (> 70cm de diamètre)

TSF : taillis sous futaie

UT : unité territoriale

## INTRODUCTION

Dans le domaine forestier comme dans le domaine agricole, le sol revêt une importance capitale puisque de ses propriétés dépendent la qualité et la quantité des productions végétales.

Contrairement aux sols agricoles, qui sont des milieux artificialisés et régulièrement travaillés, les sols forestiers restent des écosystèmes complexes et très diversifiés. Ils en sont cependant d'autant plus fragiles.

Le tassement, l'orniérage sont des phénomènes connus depuis longtemps en forêt. Ils ont été décrits dans la littérature scientifique dès les années 1950. Cependant, ils n'étaient souvent pris en compte que pour leur aspect purement visuel. En effet, les ornières sont une des principales causes de mécontentement du grand public.

Cependant les mentalités évoluent. Au niveau mondial et européen, la prise en compte de l'impact environnemental de la gestion et de l'exploitation forestières est devenue primordiale avec l'apparition de l'écocertification.

Peut-être doit-on y voir les conséquences de la tempête de 1999, au cours de laquelle beaucoup de bois ont été sortis dans l'urgence et dans de mauvaises conditions (de climat, de matériel), ce qui a laissé des marques dans les parcelles. Peut-être aussi est-ce dû à l'observation de plus en plus fréquente de dépérissements, de problèmes sanitaires dans des peuplements.

Toujours est-il que les préoccupations liées au respect de l'écosystème « sol » occupent une place grandissante dans la gestion du patrimoine forestier. Prévenir les problèmes de tassement, c'est sauvegarder la richesse écologique du sol, mais aussi garantir la qualité de la production de bois, et assurer la viabilité sanitaire et économique des forêts...

Dans ce cadre, l'Office national des forêts participe à une réflexion globale sur l'amélioration des pratiques d'exploitation forestière. Ce stage, sous la direction de l'agence régionale Picardie et de la direction territoriale Île-de-France-Nord-Ouest, en est l'un des volets. L'objectif de cette étude est de comprendre, à l'échelle de quelques grands massifs domaniaux de Picardie, les principales causes de dégâts au sol et d'en déduire des préconisations de gestion pratiques permettant de réduire les impacts des exploitations.

L'étude sera présentée en quatre parties. La première est un rappel des principales données sur le tassement des sols et l'exploitation forestière permettant de poser les principales hypothèses de travail. La deuxième présente le contexte et les objectifs du stage, ainsi que la méthode employée pour trouver les réponses aux questions posées. Nous verrons ensuite les résultats qui ont été mis en évidence, et leurs implications en termes de gestion. Enfin la quatrième partie présente les conclusions, les limites et les perspectives de cette étude.

## **PARTIE 1 : RAPPELS SUR LE TASSEMENT DES SOLS ET L'EXPLOITATION FORESTIERE**

### **1.1 Qu'est-ce qu'un sol ?**

Un sol est un milieu complexe composé de trois phases : solide, liquide et gazeuse. La phase solide est constituée d'éléments minéraux (sables, limons, argiles...) et organiques (débris de végétaux et d'animaux). De la taille et des modalités d'agrégation de ces particules solides dépend la porosité du sol, où circulent phases aqueuse (eau, solutés...) et gazeuse (air, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>...).

De plus, le sol est un écosystème qui accueille de nombreuses espèces vivantes : macro- et micro-invertébrés, bactéries, champignons...

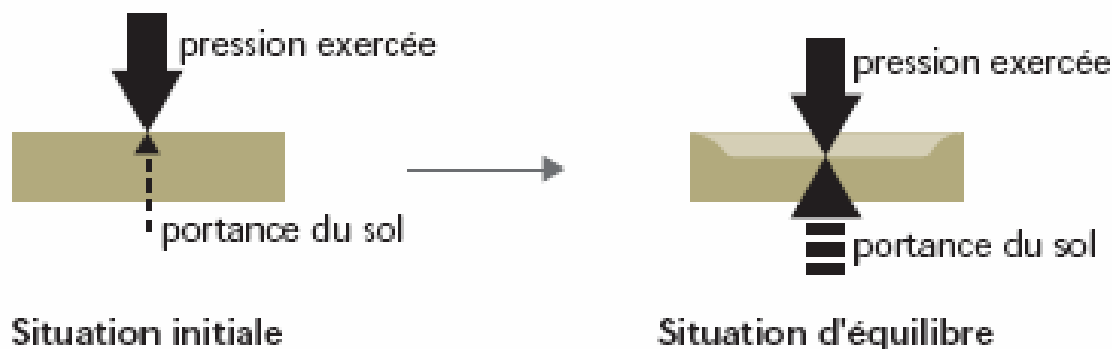
Son fonctionnement est régi par plusieurs cycles : à long terme (cycles biogéochimiques), mais aussi à très court terme, lié au fonctionnement biologique (activité variable selon les saisons), échanges gazeux avec l'atmosphère à l'échelle journalière...

Enfin les sols forestiers, au contraire des sols agricoles, ont la particularité d'être recouverts d'un humus, horizon de décomposition de la matière organique très variable selon les stations, et dont certaines propriétés sont encore mal connues.

### **1.2 Rappels sur les phénomènes de tassement des sols**

#### **1.2.1 Explication physique du phénomène**

Le tassement des sols est un phénomène physique simple : lorsqu'un homme, une machine ou un animal progresse sur un sol, celui-ci est soumis à une contrainte. Chaque sol, selon sa nature et ses caractéristiques, dispose d'une capacité à y résister. Lorsque la contrainte est trop forte, le sol se réorganise jusqu'à parvenir à un nouvel état d'équilibre (figure 1).



*Figure 1 : Explication physique du phénomène de tassement du sol (d'après Bailly et de Paul, 2005).*

Il existe en fait trois modalités de détérioration du sol : le scalpage, l'orniérage et le compactage, qui sont regroupées sous le terme de tassement ou de dégâts au sol. C'est généralement le tassement, c'est-à-dire la réduction du volume du sol sans modification de la masse (diminution de la porosité) qui est le phénomène le plus commun.

La résistance d'un sol au tassement est un phénomène extrêmement complexe, dépendant de nombreuses propriétés, mais on pourra tout de même en retenir trois principales. La granulométrie, c'est-à-dire la taille et le type des éléments minéraux qui composent le sol, joue un rôle prépondérant. Les sols à dominante sableuse seront très résistants et donc peu sensibles au tassement. À l'inverse, les sols limoneux sont les plus sensibles.

Enfin, il est important pour la suite de préciser que le tassement n'est pas un phénomène proportionnel. Lors du premier passage, l'engin provoque déjà environ 60 % des dégâts totaux, 80 % au bout du troisième passage et 95 % au huitième, comme le montre la figure 2. Pour faire simple, il vaut mieux passer cent fois au même endroit qu'une seule fois par cent chemins différents. Cette caractéristique est souvent méconnue, même des exploitants forestiers.

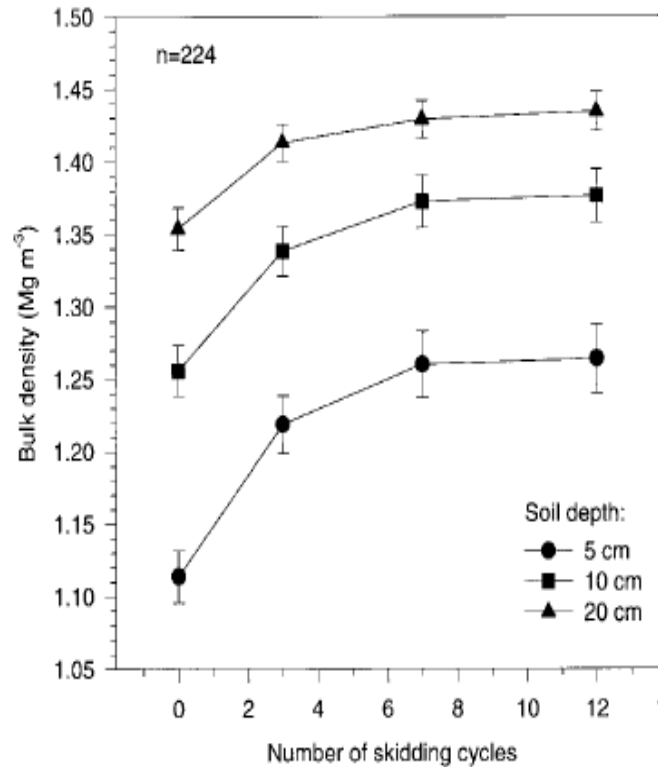


Figure 2 : Augmentation de la densité apparente du sol (bulk density) en fonction du nombre de passages d'engin (number of skidding cycles) à trois profondeurs de sol (soil depth) différentes (d'après McNabb et al, 2001).

### 1.2.2 Les conséquences du tassement

Lorsque le sol est tassé, ce sont à la fois sa structure macroscopique et microscopique qui sont modifiées. On peut voir là deux grandes conséquences qui sont liées : une diminution de la porosité (mesurée par l'indice des vides structuraux) et une augmentation de la densité apparente du sol. C'est la circulation des fluides (à la fois l'eau et l'air) qui est alors altérée. De plus la compaction des horizons augmente.

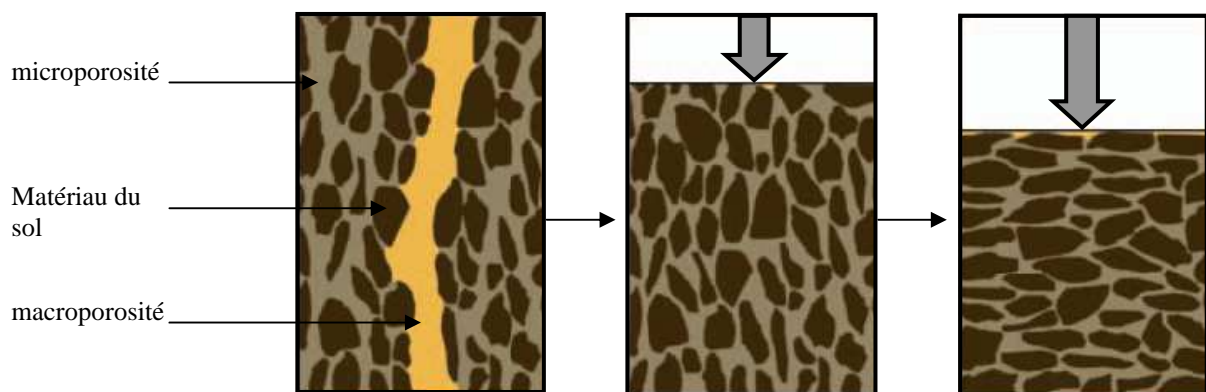


Figure 3: Impact du tassement sur la porosité du sol (d'après Bailly et de Paul, 2005).

Les conséquences sur le fonctionnement écologique du sol sont nombreuses :

- Mauvaise circulation de l'eau : la disparition de la porosité empêche une circulation correcte de l'eau. Les horizons fortement compactés forment des planchers impénétrables, d'où l'apparition de nappes temporaires, de problèmes d'hydromorphie et de milieux réducteurs, parfois à faible profondeur.
- Mauvaise circulation des gaz : n'oublions pas qu'une bonne partie des échanges gazeux entre les plantes et le milieu s'effectue par les racines. La mauvaise circulation des gaz peut entraîner l'apparition de milieux asphyxiants, et provoquer des problèmes sanitaires dans les racines : apparition de pathogènes, dépérissements...



*Figure 4 : Apparition de l'encre du châtaignier due au tassement des sols. Photographie : [www.crpfpoitou-charentes.fr](http://www.crpfpoitou-charentes.fr).*

- Diminution de l'activité biologique : le tassement des sols affecte gravement les populations de macro- et de micro-invertébrés : destruction de leur milieu de vie, asphyxie, mais aussi simplement mortalité directe au passage de l'engin. On a pu observer en milieu agricole une division par deux des populations de lombrics dans les zones récemment parcourues.
- Augmentation de la densité apparente du sol : les horizons compactés opposent une résistance de plus en plus forte à la pénétration des racines. Cela provoque un développement restreint ou anormal du système racinaire, entraînant des problèmes de croissance et de prospection en eau, pouvant parfois provoquer le dépérissement de peuplements entiers.





*Figure 5 : Impact du tassement des sols sur l'enracinement des jeunes arbres.  
Photographie : Alain Brèthes.*

- Enfin, le tassement des sols peut provoquer des perturbations dans le fonctionnement chimique du sol. Ces procédés complexes ne sont pas l'objet de cette étude qui traite surtout des propriétés physiques.

### 1.2.3 La restauration des sols tassés

La réhabilitation naturelle des sols tassés est régie par quatre grands phénomènes :

- **Les phénomènes de retrait / gonflement** : il s'agit des tensions qui s'exercent sur un matériau humide lors de sa dessiccation qui vont provoquer sa rupture sous la forme d'un réseau de fissures. C'est le phénomène le plus important du fait de sa fréquence de retour. Les phénomènes de retrait / gonflement sont très dépendants des matériaux d'origine, en particulier de la proportion d'argile (ce sont les matériaux argileux qui retiennent le plus d'eau dans le sol et sont capables des variations de volume les plus importantes).
- **L'action du gel** : le froid fait remonter l'eau du sol vers la surface. Des cristaux de glace se forment à la limite des horizons gelés. En grossissant, ils absorbent l'eau environnante et provoquent une dessiccation du matériau, entraînant l'apparition de fentes de retrait. Cependant, sous le climat français, ces phénomènes sont rares puisqu'ils nécessitent des épisodes de gel intenses et prolongés.
- **Les racines** : les racines des arbres ne sont pas des outils de perforation. Elles ne peuvent donc pas pénétrer les horizons complètement compactés, mais utilisent les réseaux de fissures existants. Cependant, par croissance radiale, et de par l'action du vent qui provoque des contraintes importantes, elles peuvent contribuer à la décompactation du sol.
- **La faune du sol** : les populations de macro-invertébrés (particulièrement de lombrics) participent activement à la remise en état des sols dégradés, en creusant des galeries et en brassant les matériaux. C'est certainement le phénomène le plus important en France. Leur efficacité est fonction de leur nombre. Cela pose particulièrement problème sur les stations acides pauvres, dans lesquels la faune (particulièrement les populations de lombrics) sont plus faibles et où la réhabilitation est de ce fait plus lente.

Cependant, ces processus sont très longs à se mettre en place. Si on observe la disparition de perturbations légères en surface au bout de quelques années, les travaux scientifiques ayant abordé le sujet parlent de plusieurs dizaines d'années pour des perturbations plus graves et plus profondes. N'oublions pas que dans nos systèmes de sylviculture actuels, les engins forestiers sont amenés à repasser dans la même parcelle tous les huit ans environ. Les dégâts sont donc cumulatifs.

La restauration artificielle peut être envisagée (par labour par exemple), mais elle est extrêmement coûteuse, et sans garantie réelle de résultat. A l'heure actuelle, les exploitants forestiers

pratiquent la « remise en état » des parcelles (égalisation du terrain à la lame de bulldozer généralement), qui correspond à une remise en état visuelle du parterre de coupe mais ne rétablit pas la structure d'origine des sols. Même plusieurs années après une telle remise en état, on observe encore sur les zones tassées les séquelles du tassement :

- La structure est restée compacte, à l'exception de quelques grosses perturbations créées par l'outil de remise en état lorsqu'il est parvenu à casser le plancher de tassement.
- Des traces d'hydromorphie sont apparues, même quand le sol autour semble sain. Le taux d'humidité relative y reste d'ailleurs plus élevé que dans les zones non perturbées.

### **1.3 Le développement de la mécanisation forestière, principale cause du tassement des sols**

La mécanisation des travaux forestiers a connu un développement important depuis les années 1950. Dans le domaine du débardage, on est rapidement passé de l'emploi du cheval ou de quelques rares tracteurs à d'anciens engins militaires, puis à des porteurs et débusqueuses spécialisés. Les abatteuses ont ensuite fait leur apparition dès les années 1970.

L'évolution des pratiques sylvicoles, la diminution de la pénibilité pour les opérateurs et la nécessité permanente d'augmenter les rendements ont justifié l'emploi de machines de plus en plus puissantes et de plus en plus lourdes en forêt. À l'heure actuelle, une débusqueuse pèse entre 8 et 12 tonnes, un porteur peut atteindre 18 tonnes (et porter son propre poids en bois), et une abatteuse environ 20 tonnes. À titre de comparaison, un cheval de trait pèse environ 600 kilogrammes.



*Figure 6 : Quelques engins forestiers classiques. Porteur et débusqueur en forêt de Retz (photographies : Laurent Renouf), abatteuse (photographie : Pascal Frbezar, ONF).*

Ce sont ces engins, dont les proportions n'ont cessé d'augmenter, qui sont principalement responsables du tassement des sols en forêt, bien que l'on connaisse quelques cas extrêmes (en forêt de Soignes à Bruxelles, par exemple) où on semble attribuer le tassement à la fréquentation du public. La contrainte exercée par un tracteur est l'expression de la répartition de son poids sur sa surface de contact avec le sol. Plus celle-ci est grande, plus l'effort est réparti.

L'augmentation du nombre de roues, l'utilisation de chenilles, de pneus plus larges ou à basse pression permettent donc de réduire les impacts au sol, mais ont hélas trop souvent servi d'excuse pour augmenter encore les tonnages et ont parfois fait plus de mal que de bien.

La figure 7 illustre ce propos : les deux engins présentés se caractérisent par une pression de contact égale. Cependant, le plus lourd des deux provoque des répercussions à une profondeur plus importante. A ce sujet, il est important de rappeler que la pression de contact théorique n'est pas identique à la pression réellement exercée sur le sol, qui est beaucoup plus élevée au niveau des crampons des pneus.

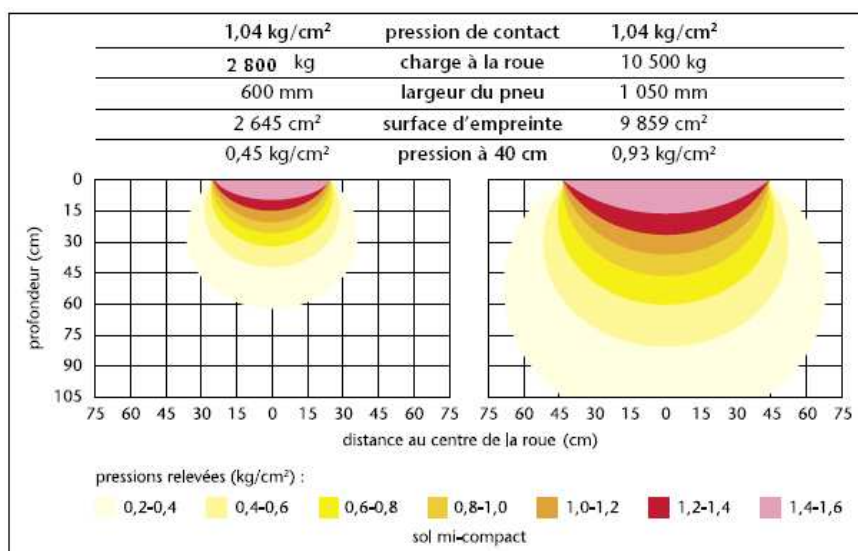


Figure 7 : Impact au sol de deux engins de poids différents à pression de contact égale (d'après Diserens et Spiess, 2004).

## 1.4 Les solutions pour prévenir le tassement

### 1.4.1 Les cloisonnements d'exploitation

Nous avons vu que les phénomènes de tassement étaient immédiats dès les premiers passages d'engins, et que si un sol peut être tassé en quelques secondes, il lui faut des décennies pour se reconstituer. Les pratiques qui consistent à diffuser les dégâts en augmentant la surface circulée ne font donc qu'aggraver l'état général de la parcelle.

Pour cette raison et pour d'autres (efficacité du travail, ergonomie...), le cloisonnement des parcelles a été favorisé partout en France, tant en forêt privée qu'en forêt publique. Les cloisonnements sont des chemins à l'intérieur de la parcelle sur lesquels on essaie de concentrer la circulation. On distingue deux types de cloisonnements : les cloisonnements sylvicoles, assez resserrés, qui facilitent les travaux dans les jeunes peuplements, et les cloisonnements d'exploitation, plus lâches, qui sont les voies de circulation des engins dans la parcelle. Seuls les cloisonnements d'exploitation seront présentés plus en détail ici.

La forme générale et la densité du réseau des cloisonnements ont fait et font toujours l'objet de discussions. Elles sont souvent très variables selon les régions ou les époques.

En ce qui concerne la Picardie, on peut retenir le schéma théorique suivant :

- largeur de quatre mètres maximum (pour ne pas encourager l'emploi d'engins toujours plus gros) ;
- entraxe (distance séparant le centre de deux cloisonnements adjacents) de 24 mètres ;
- cloisonnements les plus parallèles et rectilignes possibles, pour faciliter la visibilité et éviter au maximum les blessures au peuplement, tout en tenant compte des accidents du terrain ;
- sortie en arête de poisson sur les pistes de façon à faciliter la sortie des grumes tirées.

Il est important d'insister ici sur l'aspect théorique de ce schéma, comme nous le verrons plus loin. S'il est suivi tel quel, on obtient un résultat de 17 % de la surface de la parcelle cloisonnée, soit 83 % de la surface utile préservée. Selon le pas de cloisonnement choisi, la surface réservée à la circulation mais également les contraintes d'exploitation varient fortement.

Le recours aux cloisonnements d'exploitation semble indispensable en l'absence d'autres solutions opposables.

## 1.4.2 L'émergence de systèmes alternatifs pour lutter contre le tassement

Quelques systèmes d'exploitation alternatifs qui réduisent les impacts au sol se sont développés ces dernières années :

- **L'exploitation par câble** : connue depuis longtemps en montagne où elle permet de s'affranchir des contraintes du relief, l'exploitation par câble a récemment fait ses débuts en plaine (forêts domaniales de Mormal dans le Nord, de Bellême dans l'Orne...). C'est certainement le mode d'exploitation qui porte le moins atteinte au sol : aucune circulation d'engins, léger décapage du sol sans gravité au niveau du passage des grumes. Cependant, de nombreux problèmes restent à résoudre pour généraliser la technique : le prix du débardage est généralement deux à trois fois plus élevé que par les méthodes classiques, le nombre d'entreprises équipées est très restreint, et le traitement des houppiers est problématique (pourquoi engager de pareils moyens si les porteurs ou les tracteurs d'affouagistes sont quand même obligés d'aller chercher le petit bois dans la parcelle ?).
- **Le débardage à cheval** : c'est une méthode traditionnelle qu'on voit réapparaître, notamment en Belgique où il s'est bien développé. Les chevaux ne provoquent presque aucun dégât au sol. Cependant, ils ne peuvent être utilisés que dans des conditions particulières (produits de faible volume unitaire, distance de traînage restreinte...), ce qui en fait une solution ponctuelle.
- **La petite mécanisation** : ce concept est venu des pays de Scandinavie au cours de la dernière décennie. Le cheval de fer, le road track, engin motorisé de faible poids dont l'impact au sol est quasiment nul, ont commencé à faire leur apparition en France. Leur utilisation pose le problème de la réorganisation du travail sur les chantiers traditionnels.

Le développement de ces systèmes novateurs est freiné par le surcoût qu'ils occasionnent pour le moment, mais les études à ce sujet se multiplient.

## 1.5 L'avancée des recherches dans le domaine agricole

Si la prise en compte des phénomènes de tassement dans le domaine forestier est relativement récente, la recherche agronomique l'étudie sur les sols agricoles depuis les années 1970.

Un grand programme de recherche conduit en collaboration par plusieurs services de l'INRA (et pour la première fois en collaboration avec des forestiers) s'est récemment achevé. Son but était de faire le point sur les connaissances scientifiques en ce qui concerne :

- la quantification des conséquences écologiques et économiques du tassement ;
- la modélisation de l'intensité des tassements en fonction des systèmes de culture et du climat ;
- l'élaboration d'un système de prévisions en continu de la teneur en eau des sols ;
- l'étude de l'évolution des tassements dans le temps ;
- la cartographie des risques au niveau national.

L'agronomie bénéficie d'un retour d'expérience plus large. De nombreux modèles expliquant les relations entre sol, climat et machines agricoles sont déjà utilisés pour l'aide à la décision. Les effets du tassement sur certaines espèces sont quantifiés, et les premières réflexions économiques sont en travail.

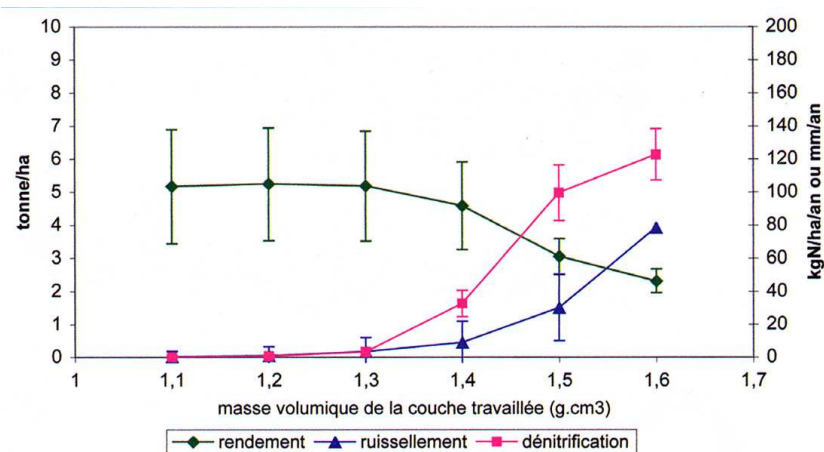


Figure 8 : Rendement, ruissellement et dénitrification dans une plantation de betteraves en fonction de la masse volumique du sol (d'après le rapport du projet « dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement »).

Cependant, il n'est pas évident de comparer l'avancée des travaux dans les domaines forestier et agricole. Les sols forestiers sont des écosystèmes beaucoup plus complexes et hétérogènes que les terres cultivées : présence de l'humus, succession d'horizons différents... Les impacts sur un peuplement sont plus difficiles à mesurer que sur des cultures annuelles dont la principale mesure à étudier est le rendement à la récolte. Enfin, l'influence du peuplement sur le sol est difficilement mesurable en forêt.

**Ce qu'il faut retenir :**

**Le tassement des sols est un phénomène physique dû à la circulation d'engins lourds en forêt. Il entraîne des problèmes sanitaires sur les peuplements en place dont l'ampleur est encore peu connue, et des difficultés d'implantation de la régénération.**

**Si les sols se tassent très rapidement, leur restauration est très lente. Le phénomène est donc cumulatif : le sol d'une parcelle n'a pas le temps de se rétablir entre deux phases d'exploitation. Pour préserver les sols forestiers, il est important de circuler toujours aux mêmes endroits et sur une surface la plus réduite possible.**

## **PARTIE 2 : CONTEXTE, OBJECTIFS, METHODE ADOPTEE POUR CETTE ETUDE**

### **2.1 Contexte**

#### **2.1.1 Les orientations politiques de l'ONF**

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, l'ONF s'est engagé à mieux préserver l'environnement à l'échelle nationale, en particulier sur l'aspect qualité des sols. Cependant, il s'est aussi engagé à mobiliser plus de bois dans les forêts relevant du régime forestier. L'agence régionale de Picardie a pour objectif la commercialisation d'environ 540 000 m<sup>3</sup> de bois par an. Préserver les sols et assurer une récolte au niveau de la production des forêts sont deux objectifs contradictoires en première approche.

Plusieurs actions ont été entreprises pour les concilier :

- La protection des sols est de plus en plus intégrée dans le règlement national d'exploitation forestière. Une note de service nationale qui abordera et recadrera les aspects primordiaux du respect des sols est en cours de rédaction.
- L'ONF a participé à de nombreux travaux de recherche et de vulgarisation sur les problèmes de tassement (participation à la synthèse INRA sur les effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols, mise en place de deux sites expérimentaux dédié au tassement des sols en Lorraine...).
- En juin 2009, l'ONF a finalisé et diffusé le guide « Prosol » pour une exploitation respectueuse des sols et de la forêt.

Début 2009, la coordination de trois stages d'élèves ingénieurs forestiers permet, en s'appuyant sur les préconisations du guide Prosol, une réflexion globale sur le problème :

- à l'échelle macroscopique sur la Lorraine
- à l'échelle locale sur quelques massifs picards
- du point de vue des systèmes d'exploitation en Haute-Marne.

#### **2.1.2 Présentation du guide Prosol, pour une exploitation respectueuse des sols**

Le guide pratique Prosol, qui vient d'être finalisé, pose les principes fondamentaux du respect des sols lors des exploitations forestières.

Il propose une classification simple des sols en quatre niveaux de sensibilité :

Classe 1 : sols très caillouteux (plus de 50 % d'éléments grossiers) ou très sableux (plus de 70 % de sable), sans hydromorphie.

Classe 2 : sols à texture dominante argileuse sans traces d'hydromorphie dans les 50 premiers centimètres.

Classe 3 : sols à texture dominante limoneuse ou sablo-limoneuse, sols présentant un engorgement temporaire dans les 50 premiers centimètres.

Classe 4 : sols tourbeux ou à engorgement permanent dès la surface.

En couplant cet indice de sensibilité à une estimation de l'humidité du sol, le guide Prosol définit les conditions de l'exploitation forestière. Il donne les recommandations nécessaires à la mise en place d'un réseau de cloisonnements efficace. Dans le cas où l'exploitation classique n'est pas envisageable, il oriente dans le choix d'un système d'exploitation alternatif.

		<b>État d'humidité</b> ( <i>Aspect dynamique</i> )			
		<b>Sol sec</b> Sur, au moins, 50 cm de profondeur	<b>Sol frais</b>	<b>Sol humide</b>	<b>Nappe d'eau présente</b> à moins de 50 cm de la surface
<b>M a t é r i a u</b>	<b>Sol très caillouteux</b> (EG > 50 %)				
	<b>Sol très sableux</b> (sables ≥ 70 %)				
	<b>Argile dominante</b>				
	<b>Limon dominant et sable limoneux</b>				

- Sol très portant - circulation d'engins possible mais toujours sur les cloisonnements
- Circulation sur cloisonnements possible avec précautions (pneus larges, tracks, rémanents)
- Aucun passage d'engins terrestres - Systèmes alternatifs (petite mécanisation, câble aérien)

Figure 9 : Un exemple des orientations de gestion données par le guide Prosol, la prise en compte de l'aspect dynamique de l'humidité du sol (Adapté du guide Prosol édité par le FCBA).

### 2.1.3 Le contexte forestier en Picardie

La Picardie est une région administrative composée de trois départements : l'Aisne, l'Oise et la Somme. Au plan géographique, elle constitue la partie nord du Bassin parisien. Elle se caractérise par une topographie de plaine vallonnée (altitude comprise entre 0 m et 285 m) et par un climat globalement sous influence océanique, mais qui suit un gradient de continentalité d'ouest en est.

L'agence régionale ONF Picardie gère 86 400 hectares de forêts relevant du régime forestier, dont 80 % de forêts domaniales. Son siège est basé à Compiègne, dans l'Oise. Elle fait partie de la direction territoriale Ile de France-Nord-Ouest, qui englobe le Nord-Pas-de-Calais, l'Ile-de-France, la Haute-Normandie et la Basse-Normandie.

La Picardie est avant tout une région agricole (71 % du territoire), mais 24 % de sa surface totale est couverte par la forêt, tous propriétaires confondus. On pourra noter la présence de grands massifs domaniaux (FD de Compiègne : 14 000 ha, FD de Retz : 13 000 ha) souvent chargés d'histoire.

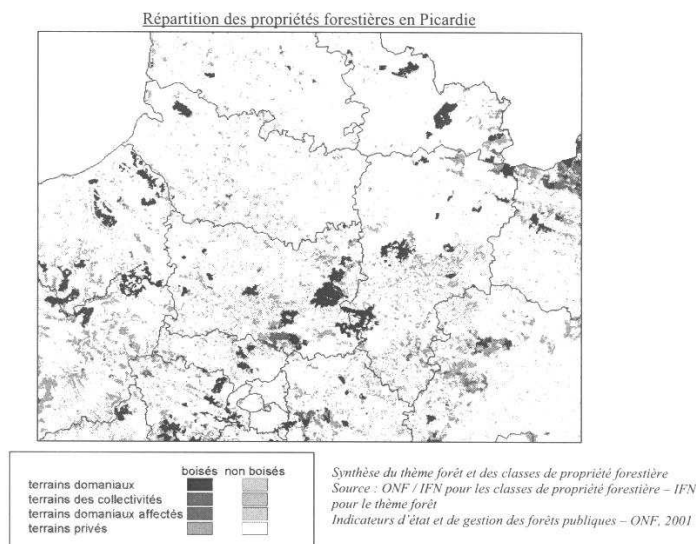


Figure 10 : La couverture forestière en Picardie (d'après le SRA de Picardie).

### 2.1.4 Les risques de tassement des sols en Picardie

Les stations forestières y sont particulièrement fertiles et la productivité globalement très élevée. Les peuplements sont majoritairement feuillus (très grande variété d'essences, mais prédominance du hêtre et des chênes). Les résineux ont également été introduits par plantation, en particulier le pin sur les stations sableuses. Cette fertilité exceptionnelle est en grande partie due à la présence d'une couche de limon lœssique assez fréquente sur le territoire (pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur par endroits).

Cet atout implique une fragilité extrême des sols picards : les limons sont les éléments texturaux les plus sensibles au tassement. De plus, une bonne productivité entraîne des volumes de bois à récolter plus importants et des interventions en forêt plus fréquentes.

Cette dualité ne peut avoir qu'une conséquence : sans contrôle des pratiques d'exploitation, des dégâts marqués apparaissent à tous les niveaux de la parcelle. Il suffit de visiter quelques chantiers d'exploitation pour s'en rendre compte.



Figure 11 : De gauche à droite, dégâts en parcelle, sur piste et sur place de dépôt.  
 Photographies : Laurent Renouf.

## 2.2 Problématique du stage, résultats attendus

En Picardie, du fait des impératifs économiques et temporels, les chantiers d'exploitation forestière s'effectuent parfois dans des conditions problématiques : respect partiel des consignes,



circulation d'engins dans des conditions météorologiques inadaptées, circulation hors des cloisonnements d'exploitation...

Du fait de l'inexistence, jusqu'à présent, de normes auxquelles se référer pour caractériser l'impact au sol d'une exploitation forestière, les réactions des gestionnaires sont parfois variables. En effet, l'estimation de la gravité des dégâts implique une part de subjectivité. Elle ne peut être caractérisée de manière objective à l'aide des moyens dont disposent les agents de terrain dans la gestion au quotidien puisqu'elle ne peut se résumer à une observation visuelle.

De plus, les contraintes économiques fortes qui reposent sur la vidange des bois compliquent l'application de préconisations de gestion en faveur du respect des sols (circulation à mi-charge des engins, arrêt de chantier...). Les exploitants forestiers n'ont parfois pas d'autre choix que de rentrer dans la parcelle pour en sortir les bois au plus vite.

Afin d'orienter et d'harmoniser les décisions en ce qui concerne l'évaluation de la sensibilité des sols, le suivi des exploitations, l'implantation des cloisonnements... une note de service nationale est à l'étude. Les premières pistes de réflexion ont été données aux gestionnaires par le guide Prosol.

L'objectif de ce stage est de décliner en préconisations techniques adaptées au contexte des forêts de Picardie les grandes orientations de la politique de respect des sols qui seront données à la fois par le guide d'exploitation respectueuse et la note de service nationale en interne.

Il s'agit, en d'autres termes, de :

- hiérarchiser et cartographier la sensibilité des stations forestières ;
- recenser et comprendre l'origine des dégâts au sol lors des exploitations ;
- en déduire les mesures techniques à mettre en œuvre pour réduire l'impact des exploitations en intégrant les différents niveaux de sensibilité, et d'étudier leurs implications pratiques (faisabilité technique, économique, changement des méthodes de travail pour les agents et les exploitants forestiers...).

## **2.3 Méthode**

### **2.3.1 Phase préliminaire : choix de la zone d'étude**

L'aspect très opérationnel de ce travail a nécessité de s'appuyer sur des cas concrets. Il a fallu choisir des massifs d'étude représentatifs de la problématique des sols sensibles.

#### *2.3.1.1 Combien de massifs retenir ?*

La première question qui s'est posée a été de choisir sur combien de massifs l'étude allait porter. Étant donné la durée relativement courte du stage, un nombre trop important de forêts aurait signifié une étude moins approfondie de chacune d'entre elles, et des contraintes supplémentaires : temps nécessaire pour prendre connaissance des massifs, des acteurs ; temps de déplacement... Le choix s'est donc porté sur seulement trois massifs, mais de taille assez grande pour offrir un éventail de situations diversifié.

Le choix s'est avant tout porté sur des massifs déjà connus pour la sensibilité de leurs sols. Le deuxième critère a été la disponibilité des informations : pour établir des cartes de sensibilité pertinentes un certain nombre de données SIG sont absolument nécessaires.

Ce sont les forêts domaniales de Retz, Saint-Michel et Saint-Gobain, toutes trois situées dans le département de l'Aisne, qui ont finalement été retenues.

#### *2.3.1.2 Présentation de la forêt domaniale de Saint-Michel*

La forêt de Saint-Michel est un massif d'environ 3 500 ha situé à la frontière entre la Belgique et les départements du Nord, de l'Aisne et des Ardennes. Elle repose d'ailleurs sur la frontière occidentale du massif des Ardennes.

Cette forêt est bien connue pour sa sensibilité : les sols sont majoritairement composés d'une épaisse couche de limons et la topographie est relativement plane. L'abondance des zones humides

(situation de tête de bassin) et la régularité et l'abondance des précipitations (environ 1 200 mm par an) aggravent encore la situation.

C'est donc le massif qui a retenu en premier notre attention, bien que l'on dispose de peu de données numérisées dessus.

#### *2.3.1.3 Présentation de la forêt domaniale de Saint-Gobain Coucy-Basse*

Situé au cœur de la Picardie, le massif de Saint-Gobain (8 500 ha environ) recouvre une butte témoin à l'ouest de la ville de Laon. La forêt est également composée d'une zone très plane, l'ancienne forêt de Coucy-Basse. Ici aussi les problèmes de sensibilité au tassement sont connus, surtout dans les zones de plateaux recouverts de limon. Le relief très contrasté et le passé de la forêt en font un massif extrêmement diversifié, à tous les points de vue.

#### *2.3.1.4 Présentation de la forêt domaniale de Retz*

La forêt domaniale de Retz est un grand massif de près de 13 000 ha au sud-est de Compiègne. Sa topographie relativement plane et les épais placages limoneux qui la recouvrent en font encore une fois une bonne zone d'étude.

### **2.3.2 Première phase : identification des différents niveaux de sensibilité**

Cette première partie du travail a consisté à cartographier, sur les trois massifs retenus, la sensibilité des sols au tassement, en cherchant à respecter au maximum les classes données par le guide de l'exploitation respectueuse des sols.

#### *2.3.2.1 Présentation des données disponibles*

- Forêts de Retz et Saint-Gobain

Les forêts de Retz et de Saint-Gobain ont fait l'objet, dans les années 1970, d'une cartographie pédologique à l'échelle 1 : 10 000 réalisée par les services de l'INRA en Picardie : les cartes de l'équipe Maucorps.

Les relevés ont été faits selon un maillage systématique, un point par hectare environ. Sur chacun de ces points ont été relevés : le matériau d'origine, la nature et l'intensité des éléments grossiers, la succession texturale, l'intensité de l'hydromorphie à différentes profondeurs, le développement du profil pédologique.

La légende des cartes Maucorps est consultable en annexe 1.

À cela se rajoutent les données stationnelles classiques de l'aménagement : type de station, type d'habitat...

- Forêt de Saint-Michel

La forêt de Saint-Michel n'a pas été couverte par l'étude Maucorps. Seules sont numérisées les données de l'aménagement, ainsi qu'une étude sur la potentialité des stations qui comporte quelques informations succinctes sur la texture et l'hydromorphie.

#### *2.3.2.2 Traduction des données de départ*

La première étape a été de traduire les données brutes et de mettre à équivalence les seuils avec ceux du guide.

La succession texturale, inutilisable telle quelle, a été transformée en une texture de surface. Le guide Prosol recommande une étude de sol sur 50 cm de profondeur pour diagnostiquer la sensibilité. Les classes de drainage, codées, ont été traduites de façon à savoir s'il y avait hydromorphie dans les 50 premiers centimètres, et si elle est permanente ou non.

Les cartes Maucorps ne permettent pas de repérer les stations où la pierrosité dépasse 50 %. Heureusement, ces stations sont quasi inexistantes sur les trois massifs d'étude, et ne pourraient, dans le contexte géologique de la Picardie, correspondre qu'à des zones d'éboulis, donc à des stations

facilement identifiables pour lesquelles la question du tassement ne se pose pas. Cela ne compromet finalement pas la validité de la cartographie.

#### 2.3.2.3 *Création des cartes*

Une fois les seuils établis, les cartes ont été créées par requêtes successives sous ArcInfo®.

Classe 1 : stations sableuses non hydromorphes en surface.

Classe 2 : stations argileuses non hydromorphes en surface.

Classe 3 : stations limoneuses, limono-sableuses, sablo-limoneuses ou présentant des traces d'hydromorphie dans les 50 premiers centimètres.

Classe 4 : stations tourbeuses ou à engorgement permanent.

#### 2.3.2.4 *Validation des cartes*

Deux choix se sont offerts pour la validation des cartes obtenues :

- Une vérification de terrain : à partir d'un échantillon de stations, vérifier sur le terrain l'exactitude des informations.
- Une vérification plus simple auprès des agents de terrain.

La première méthode aurait permis d'effectuer une vérification très rigoureuse des cartes créées. Elle n'a pas pu être mise en place car elle aurait pris beaucoup trop de temps : il aurait fallu réfléchir au plan d'échantillonnage (définir la précision voulue et le nombre de points nécessaires, répartir ces points en fonction des classes de perturbation...). Il aurait également fallu réfléchir à un protocole de mesure et faire tous les relevés de terrain.

Toutes ces opérations auraient été trop longues à mener à bien : la cartographie n'est pas le but final de cette étude, mais un outil préliminaire au reste de la réflexion. De plus, la sensibilité de ces massifs est avérée.

La vérification a consisté en une simple confrontation des cartes à l'expérience des personnels de terrain : expérience des responsables d'UT au niveau global, puis des agents pour cibler la vérification sur des secteurs forestiers précis. Pour compléter cette démarche, une rapide vérification des caractéristiques du sol a été faite sur le terrain, sur les chantiers analysés plus en détail par la suite.

### **2.3.3 Deuxième phase : Compréhension des causes de dégradation des sols**

#### 2.3.3.1 *But de la démarche*

Sur un certain nombre de chantiers, l'objectif était de relever l'état global de perturbation du sol et de le croiser avec une liste de caractéristiques la plus exhaustive possible pour faire ressortir les principales causes de dégradation, pour définir ensuite les préconisations techniques nécessaires à un meilleur respect des sols.

#### 2.3.3.2 *Les facteurs potentiellement explicatifs à relever*

Un chantier d'exploitation forestière peut être schématisé de la façon suivante :

« Des engins forestiers,  
conduits et encadrés par des hommes,  
qui sortent des produits divers,  
à une période donnée,  
sur une parcelle donnée. »

L'étude s'est donc concentrée sur ces cinq niveaux.

- Les caractéristiques propres à la parcelle
  - Les données générales : numéro de parcelle, forêt, surface, agent responsable du secteur.
  - La sensibilité au tassement : il s'agit de la classe obtenue par cartographie SIG. Par précaution, la classe la plus élevée a été retenue en cas d'hétérogénéité sur la parcelle.
  - La texture et le niveau de drainage : le but est de regarder s'il y a prépondérance de l'un des deux facteurs dans la sensibilité globale.

- La pente moyenne de la parcelle : elle est calculée à partir d'un modèle numérique de terrain sous SIG. Elle peut jouer sur le comportement des engins, l'écoulement des eaux...
  - Le peuplement : c'est une information récupérée sur les fiches articles. Une fiche article type utilisée pour cette étude est consultable en annexe 2. Elle donne une idée des essences rencontrées et du mode de sylviculture.
  - Pour chaque parcelle, un indice de microrelief prend en compte les inégalités et accidents du terrain. Il a été découpé en cinq catégories : très égal, égal, inégal, très inégal, zones humides.
  - Sur les parcelles cloisonnées, la visibilité du cloisonnement a été évaluée. Le classement créé découle des observations de terrain :
    - 1- Visibilité parfaite du cloisonnement : il est impossible à l'opérateur de ne pas le retrouver.
    - 2- Visibilité correcte des cloisonnements, sans plus.
    - 3- Visibilité moyenne, on trouve les traces d'un réseau de cloisonnement, sa compréhension nécessite du temps et tourne parfois au « jeu de pistes ».
    - 4- Impossible de trouver une logique de cloisonnement, même si les traces de la matérialisation sont parfois visibles.
- Les caractéristiques de la période d'exploitation
    - La période de passage des engins : c'est une donnée recueillie auprès des agents. Les informations récupérées ont une précision de l'ordre du mois. Pour les parcelles où les produits étaient sortis en plusieurs fois, seule la période où les conditions climatiques étaient les plus défavorables a été conservée.
    - Les précipitations : elles sont définies en fonction du mois de coupe, à partir de la station météorologique la plus proche (maximum 30 km). Trois niveaux ont été retenus : les précipitations du mois de l'exploitation, du mois précédant l'exploitation, et le cumul des trois mois précédant l'exploitation.
    - Les jours de gel : comme les précipitations, ils sont fournis par la station météo la plus proche. Ils ne concernent que le mois de l'exploitation.
    - À partir de ces données météorologiques plusieurs variables climatiques ont été créées : évapotranspiration, réserve en eau du sol...
- Les caractéristiques des produits de la coupe
    - Le type de coupe : coupe d'amélioration, coupe d'ensemencement... Associé au type de peuplement, il donne une bonne représentation de la parcelle.
    - Le prélèvement : le prélèvement à l'hectare a été reconstitué à partir des fiches articles. Il mesure l'intensité de la coupe.
    - La répartition en type de produits : la répartition du prélèvement en petit bois (< 30 cm), bois moyen (30 à 45 cm) et gros bois (50 cm et plus), ainsi que les pourcentages de taillis et houppiers regroupés dans une même catégorie (produits similaires) a été calculée à partir de ces mêmes fiches.
    - Le volume sorti par le porteur et le volume sorti par le débusqueur : on peut poser l'hypothèse que dans une coupe classique, le petit bois, le taillis et les houppiers sont sortis par porteur, le bois moyen et le gros bois par débusqueur. Cela donne une idée de l'importance relative de chaque engin.
- Les données relatives au matériel employé
 

Pour chaque coupe, l'agent responsable a fourni les types d'engins qui ont circulé sur la parcelle, leur poids et le nombre de leurs roues.
- Les données ayant trait au facteur humain n'ont pas été relevées lors de cette étude pour plusieurs raisons :
    - Ils sont trop nombreux : il faudrait étudier, pour chaque chantier, le comportement des conducteurs, de l'acheteur, de l'agent ONF...

- Ils sont impossibles à relever et à analyser : « sévérité de l'agent », « conscience écologique » du conducteur...
- Le but de cette étude est de trouver les moyens de réduire les dégâts en forêt, et ce quel que soit l'agent extérieur qui intervient. On ne cherche pas à hiérarchiser, en « bons » ou « mauvais » les personnels ONF, les ETF ou les acheteurs.

### 2.3.3.3 *Le protocole de mesures sur le terrain*

Nous l'avons vu précédemment, mesurer le tassement du sol se révèle généralement long et coûteux. De plus, on ne peut mesurer que la variation de densité apparente du sol, ou la résistance à la pénétration, ce qui ne permet pas de définir ce qui est acceptable ou pas, ni d'évaluer les dégâts au peuplement. De plus, cette étude n'a pas la prétention d'anticiper sur des projets de recherche qui sont actuellement en développement et qui donneront leurs premiers résultats dans les années qui viennent.

La seule approche fonctionnelle qui permette d'évaluer l'état d'un sol est visuelle. Elle est à traiter, cependant, avec précaution, puisqu'on a vu que la corrélation dégâts visuels – dégâts en profondeur n'est pas évidente.

Les dégâts au sol ont déjà fait l'objet d'études, et il existe un protocole harmonisé européen facilitant les recherches dans le domaine de l'exploitation forestière : l'action concertée AIR3-CT94-2097 réalisée par le CTBA en partenariat avec l'Union européenne. Une partie du protocole traite du relevé des perturbations au sol, dont voici un résumé :

- En fonction de la surface de la parcelle étudiée et de la précision souhaitée (erreur absolue), on définit un nombre de points de relevé, souvent très élevé.
- On repère les principales voies de vidange des bois.
- On trace des transects les plus perpendiculaires possibles à ces voies de vidange, sur lesquels on fait un relevé tous les mètres. Le nombre de relevés choisis permet de calculer l'écartement des transects, puisqu'ils sont effectués tous les mètres et qu'il faut couvrir la parcelle de façon homogène.
- Pour chaque point, on réalise une observation visuelle des sols, à laquelle on attribue une classe de perturbation.
- On distingue en outre si on se situe dans le cloisonnement, hors cloisonnement, sur les roues ou entre les roues de l'engin.

Voici la définition des perturbations de surface telle qu'elle est fournie par le protocole commun européen.

Classes de perturbation	Type de perturbation	Code	Description
Pas de perturbation		1	La litière originelle est en place.
Perturbations légères	Litière déplacée, horizon organique intact	2	Litière entièrement ou partiellement déplacée exposant l'horizon organique intact.
	Litière et horizon organique mélangés	3	Mélange de la surface du sol, la structure originelle du sol peut être encore présente.
Perturbations sévères	Perturbation inférieure à 5 cm.	4	Litière et horizon organique perturbés largement.
	Ornières de 5 à 15 cm de profondeur.	5	Formées par les roues, chaînes, câbles ou par les grumes et les branches.
	Ornières de 16 à 30 cm de profondeur	6	Elles peuvent être considérées comme des couloirs d'évacuation même si des ornières discontinues ne posent pas de problème.
	Ornières > 30 cm de profondeur	7	La profondeur est relative à la paroi de l'ornière.
	Roche mère apparente	8	Dépôt non consolidé de la roche mère en surface du sol.
Couche de branches	10 à 30 cm d'épaisseur	9	La surface du sol ne peut être observée
	> 30 cm d'épaisseur	10	La surface du sol ne peut être observée.
Non-sol	Rocher, marécage, souche...	11	Zones non productives
Apport	Terre, remblais	12	Apport extérieur
Billons, grumes		13	

Figure 12 : Répartition en classes de perturbation des observations visuelles (d'après le protocole harmonisé européen AIR3 CT94 2097).

L'annexe 6 présente quelques exemples des principales perturbations.

L'application exacte du protocole demande beaucoup de temps. Il donne une description très précise de la parcelle. L'objectif de cette étude est d'obtenir une vision d'ensemble des pratiques d'exploitation. Il a donc fallu trouver un compromis entre la rigueur scientifique du protocole et les contraintes temporelles liées au stage. Quelques modifications y ont été apportées :

- Le nombre de points de mesure a été réduit en accord avec les personnes qui avaient déjà utilisé le protocole. Un nombre minimal de 100 points à l'hectare a été retenu, bien qu'il ait souvent été plus élevé (entre 100 et 150).
- La séparation « sur les roues » et « entre les roues » a été supprimée : la bande non circulée entre les roues de l'engin est tout de même impactée. Son appréciation est de plus impossible sur les cloisonnements.
- Les classes de perturbation ont été conservées. Les classes 9 à 13 n'ont pas été comptabilisées, sauf lorsqu'elles avaient un intérêt notoire (exemple : les rémanents dans le cloisonnement).

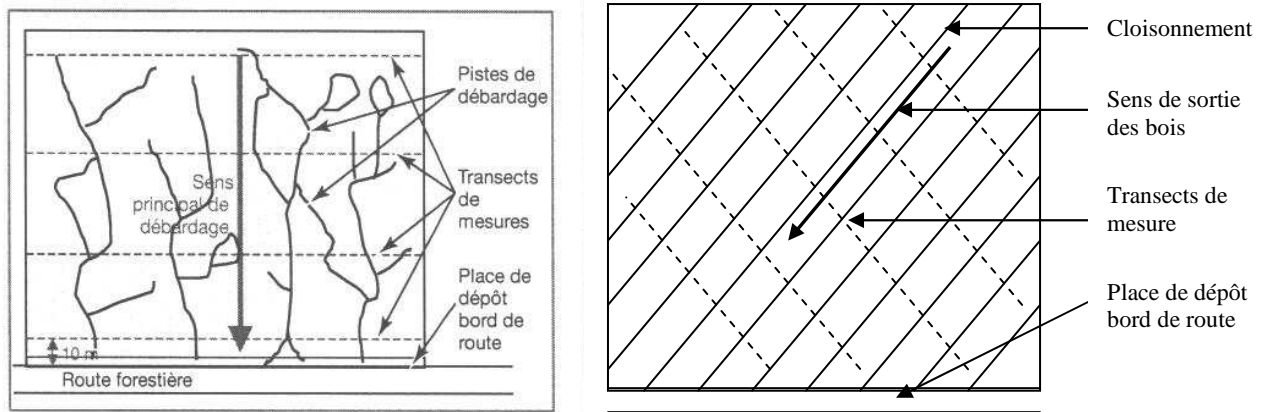


Figure 13 : Mode opératoire des relevés de terrain dans une parcelle non cloisonnée et dans une parcelle cloisonnée (d'après Cacot, 2006).

#### 2.3.3.4 Le choix des chantiers à analyser

Le choix des chantiers a soulevé plusieurs interrogations : fallait-il faire un échantillonnage systématique ou non ? Et si oui, selon quel critère ? Quel nombre de chantiers doit-on retenir au final ?

Encore une fois, il faut rappeler que l'on cherche à avoir une vue d'ensemble des modalités d'exploitation. Les parcelles à sensibilité élevée ont été favorisées, en conservant tout de même quelques parcelles « témoin » sur sols peu sensibles. Ensuite, les chantiers ont été sélectionnés de façon à offrir le plus large panel de situations.

Ces questions théoriques ont globalement été réglées par les réalités de terrain : le protocole de terrain doit être appliqué à des parcelles récemment passées en coupe, sur lesquelles les traces, même légères, sont encore visibles. Cela a limité le choix à des chantiers de la fin de l'année 2008, sauf quelques exceptions pour la période printemps-été 2008.

De plus, c'est le manque d'informations en ce qui concerne l'équipement utilisé ou les dates de passage des engins qui a fait la majeure partie du tri dans les chantiers potentiels : informations non prises en note par les agents, chantiers trop étalés dans le temps... Enfin, la relative lourdeur du protocole a imposé un nombre de chantiers assez restreint, la phase de terrain ne pouvant durer plus d'un mois.

Au final, 50 chantiers ont été retenus sur les trois forêts, dont voici quelques caractéristiques. Il faut noter que quelques parcelles résineuses ont été étudiées. Elles ne sont pas comparables aux autres parcelles étudiées et n'ont pas été traitées de la même façon. Les résultats les concernant seront traités dans une partie à part, au paragraphe 3.3.1.3.

Saint-Gobain	Retz	Saint-Michel
10 parcelles cloisonnées	18 parcelles cloisonnées	2 parcelles cloisonnées
7 parcelles non cloisonnées	4 parcelles non cloisonnées	4 parcelles non cloisonnées
	1 éclaircie résineuse systématique	4 éclaircies résineuses systématiques

Figure 14 : Répartition des parcelles de l'échantillon par forêt.

Type de coupe	Amélioration classe 1	Amélioration classe 2	Amélioration classe 3	Amélioration classe 4	Amélioration classe 5	Ensemencement	Secondaire	Définitive	Jardinée	Rase
nombre	2	3	12	5	3	6	4	5	3	2

Figure 15 : Répartition des parcelles de l'échantillon par type de coupe. Les classes de 1 à 5 correspondent à des opérations similaires dans des peuplements de plus en plus âgés.

### 2.3.3.5 L'analyse des données de terrain

Cette méthode a permis de relever sur chaque chantier un nombre de données très conséquent. Il faut réfléchir avec soin à leur pertinence et aux méthodes d'analyse qui vont être employées.

- Rappel de quelques hypothèses de base
  - Les données sont constituées de nombres de points répartis dans différentes classes de perturbation, à la fois dans et hors cloisonnement. Le nombre de points relevés par parcelle étant relativement important, il est associé à des surfaces.
  - Il s'agit uniquement d'observations visuelles des perturbations. Il n'y a pas de relevés concernant la densité du sol, les dégâts aux racines...
  - Le lien entre observation visuelle d'une perturbation et intensité du tassement doit être traité avec beaucoup de précautions.
  - Cependant, un passage d'engin suffit à créer 60 % des dégâts au sol. On atteint 80 % dès le troisième passage.

- Quelques données jugées « pièges » qui n'ont pas été retenues pour l'analyse

De nombreux indices peuvent être créés à partir de ces données brutes, et on pourrait vite tomber dans le piège de créer des variables synthétiques.

Par exemple, un essai a été fait en pondérant le pourcentage de chaque classe par la valeur de cette classe ( $\%1 \times 1 + \%2 \times 2 + \dots + \%6 \times 6 + \%7 \times 7$ ), les chantiers s'étant le mieux déroulés obtenant la note la plus faible. Cependant, cela impliquerait une relation entre intensité du tassement et profondeur de la perturbation, ce qui pourrait s'avérer hasardeux. Les indices de ce type n'ont pas été employés, ou simplement pour une comparaison de parcelles.

Pour les mêmes raisons, la séparation « pas de perturbation / perturbation légère / perturbation sévère » n'a pas été retenue.

- Les données retenues pour l'analyse

Par principe de précaution, l'entrée la plus fiable est donc la surface circulée (séparation entre la classe 1 « pas de perturbation » et les classes 2 à 7). En effet, des mesures réalisées en parallèle de ce protocole montrent que dans la majeure partie des cas, les zones circulées présentent une augmentation significative de la densité apparente du sol, même pour les classes de perturbation les plus faibles (Cacot, 2006).

Les cloisonnements ne peuvent pas être considérés de la même manière que le reste de la parcelle, puisqu'ils sont forcément empruntés.

C'est la gravité des perturbations qu'il est intéressant d'étudier. Les perturbations de classe 4 ou moins (perturbations inférieures à 5 cm) n'apportent pas beaucoup d'informations : la trace d'un cran de pneu atteint déjà près de 10 cm de profondeur. De même, les perturbations de classe 5 (ornières de 5 à 15 cm) de profondeur représentent un état de « quasi-normalité » sur un cloisonnement après coupe. Les analyses se porteront donc sur les ornières de plus de 15 cm de profondeur.

- Les modes de traitement

Les analyses statistiques simples (analyses de variance principalement) ont été réalisées avec Statistica, logiciel utilisé à l'ONF. Pour aller plus loin, des techniques d'analyse exploratoire ont été employées sous le logiciel R avec l'aide des statisticiens de l'ONF : analyse discriminante, boostage d'arbres de régression (BRT), MANOVA. Cette phase a entraîné quelques difficultés (le jeu de données n'avait pas été prévu pour les statistiques exploratoires : nombre d'occurrences relativement



faible, hétérogénéité des variables...), mais a donné des résultats intéressants qu'il a été possible d'exploiter plus en détail par la suite.

Le tableau de données complet utilisé pour l'analyse est consultable en annexe 3.

#### **2.3.4 Troisième phase : définition de préconisations visant à prévenir les dégâts au sol**

Une fois les causes des dégâts identifiées, la dernière phase du travail a consisté à :

- recenser les solutions adaptées à chaque problème ;
- relever les avantages et les inconvénients de chacune ;
- étudier leur faisabilité technique et économique selon les différents cas de figure.

En guise de synthèse, ces résultats ont été appliqués au portefeuille des coupes de la forêt de Retz (c'est-à-dire les coupes martelées qui n'ont pas encore été vendues) de façon à caractériser l'enjeu « sol » sur le massif.

## PARTIE 3 : RESULTATS : CARACTERISATION DU RISQUE DE DEGATS AU SOL

### 3.1 Hierarchisation de la sensibilité des stations

#### 3.1.1 Analyse critique des cartes de sensibilité établies

- Le cas des forêts de Saint-Gobain et Retz

La forêt de Saint-Gobain servira d'illustration pour l'analyse de la cartographie. Toutes les cartes de sensibilité obtenues sont disponibles en annexe 4.

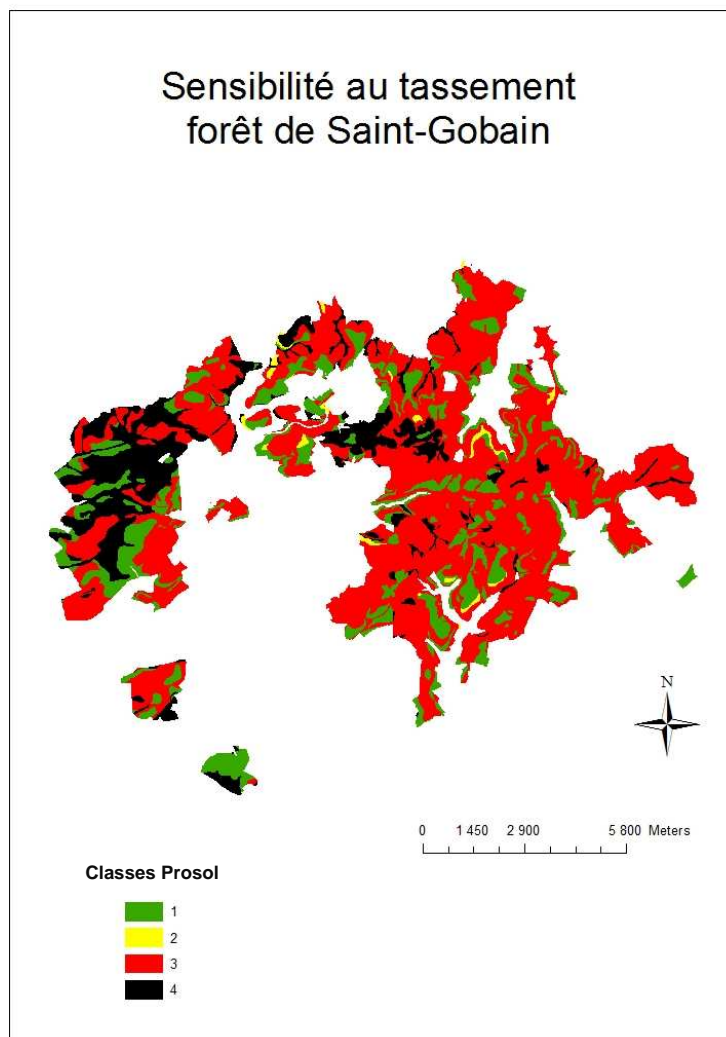


Figure 16 : Carte de la sensibilité des sols en forêt de Saint-Gobain d'après les classes du guide Prosol

- Le cas de la forêt de Saint-Michel

Les données sont plus restreintes sur la forêt de Saint-Michel. On ne dispose que de classes de fertilité accompagnées de commentaires de type : « Hydromorphie 40 – 80 cm, potentialité élevée » ou « 20 < schiste < 40 cm, potentialité intermédiaire ».

La forêt de Saint-Michel étant un ensemble extrêmement homogène, dans ce contexte, plusieurs hypothèses peuvent être posées, permettant d'obtenir une carte des sensibilités comparable à celles des autres massifs.

- Toutes les zones ne présentant pas d'apparition de schiste rapide (versant de vallons encaissés) correspondent à des placages limoneux.
- La pierrosité est globalement inexistante sur Saint-Michel, sauf en zone schisteuse.

Les cartes obtenues présentent quelques incohérences avec la réalité (repérées par les agents et vérifiées sur le terrain). On peut citer l'exemple des stations sablo-limoneuses assez caillouteuses et bien drainées qui apparaissent en rouge sur les cartes alors qu'elles présentent un risque faible. On observe aussi quelques phénomènes d'inversion des sensibilités, en particulier au niveau des zones de rupture de pente qui s'expliquent surtout par des transitions texturales.

Dans cette zone de la forêt, les conditions d'exploitation empirent largement d'ouest en est, et non l'inverse comme le suggère la carte.

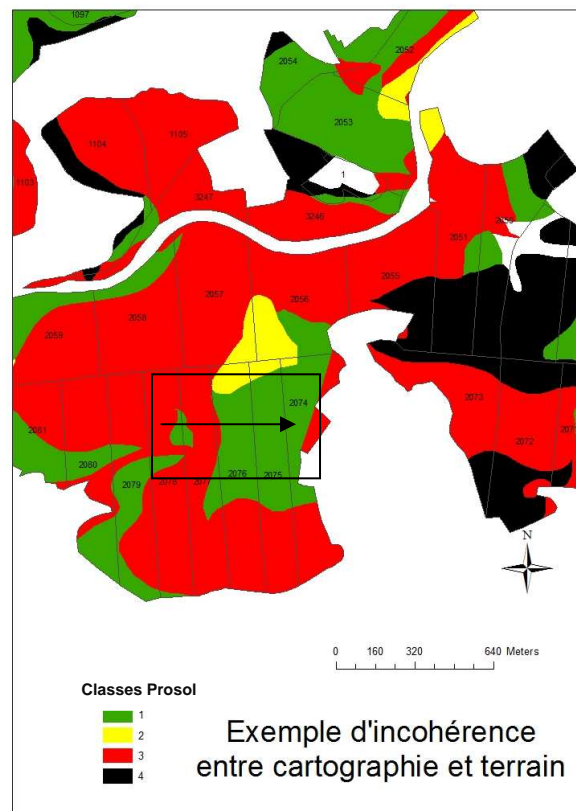


Figure 17 : Exemple d'une anomalie dans une carte obtenue d'après les critères Prosol.

Les véritables incohérences restent tout de même anecdotiques. Elles ne représentent que des stations isolées qui « sautent aux yeux » des agents, et elles constituent moins de 5 % des massifs étudiés.

La comparaison entre les trois cartes ainsi qu'une étude plus poussée de quelques stations font ressortir les limites de la méthode de cartographie.

- Elle ne fait apparaître aucune distinction entre les trois massifs. Dans les trois cas, plus de 80 % du massif est en classe de sensibilité 3 ou 4. Or on sait, de par l'expérience des agents et l'observation des chantiers d'exploitation qu'il existe une gradation entre Saint Michel, forêt la plus à risque, et les massifs de Retz et Saint Gobain, qui sont moins sensibles.

- Il n'y a pas de distinction au sein même d'un massif entre des stations qui n'ont clairement pas le même niveau de sensibilité, même s'il y a potentiellement un risque dans tous les cas.

Ces cartes semblent donc difficilement utilisables dans le cadre d'une gestion opérationnelle des problèmes de fragilité des sols. Elles ne sont pas fausses, mais n'apportent pas une information assez précise. Elles rappellent que les sols de ces trois massifs sont sensibles, mais ce fait était déjà acquis.

### 3.1.2 Approfondissement des critères de cartographie

Le principal problème de cette méthode de classification est que les critères de décision sont trop exclusifs, en particulier en ce qui concerne les textures. Il est peut-être adapté à une plus grande échelle, mais prend en compte des variations trop extrêmes pour convenir à l'échelle de ces massifs picards.

Pour répondre aux besoins de cette étude, les critères de cartographie ont été approfondis. Ce qui aboutit à une seconde méthode, légèrement différente. L'objectif est de mettre en place une cartographie plus « souple » (c'est-à-dire des transitions moins brutales entre la sensibilité des stations), mais reste en respect avec les grands critères du guide Prosol.

Pour chaque unité stationnelle, la texture, le régime hydrique et la pierrosité ont été notées en fonction de leur importance dans le risque de tassement. Un essai d'intégration du facteur « richesse chimique » a été entrepris, puis abandonné.

Le système de notation est résumé dans le tableau qui suit :

Texture		Drainage		Pierrosité		Richesse (abandonné)	
Modalité INRA	Note	Modalité INRA	Note	Modalité INRA	Note	Modalité INRA	Note
U	1	0	1	2	-1	Toutes textures sauf L,E ,I	0
S		1					
Y		2					
Yc							
C							
O	2	3	3	1	0	L,E,I, non lessivés	0
A							
Ac		4					
I							
Ic							
Ec	3	5	4	0	1	L,E,I lessivés	1
E		6					
L		7					
T		8					
		5					

Figure 18 : Récapitulatif de la seconde méthode de cartographie.

Remarque : la légende Maucorps en annexe 1 permet de comprendre la codification de ce tableau.

Cette méthode a abouti à une notation de 1 à 9 de la sensibilité des parcelles, par addition des notes de texture, drainage et pierrosité. Plus la note est élevée, plus les stations sont sensibles. Les stations tourbeuses ou à engorgement permanent ont été rangées dans une catégorie à part. On retrouve

dans les notes les plus faibles les stations sableuses et dans les notes les plus élevées les stations limoneuses et/ou hydromorphes. Cette cartographie reste donc au maximum en accord avec les critères de décision du guide Prosol.

Cette notation de 1 à 9 a ensuite été redécoupée en quatre classes, toujours dans l'esprit des critères Prosol.

### 3.1.3 Comparaison des deux méthodes de cartographie

Voici la forêt de Saint-Gobain, cartographiée selon les deux méthodes.

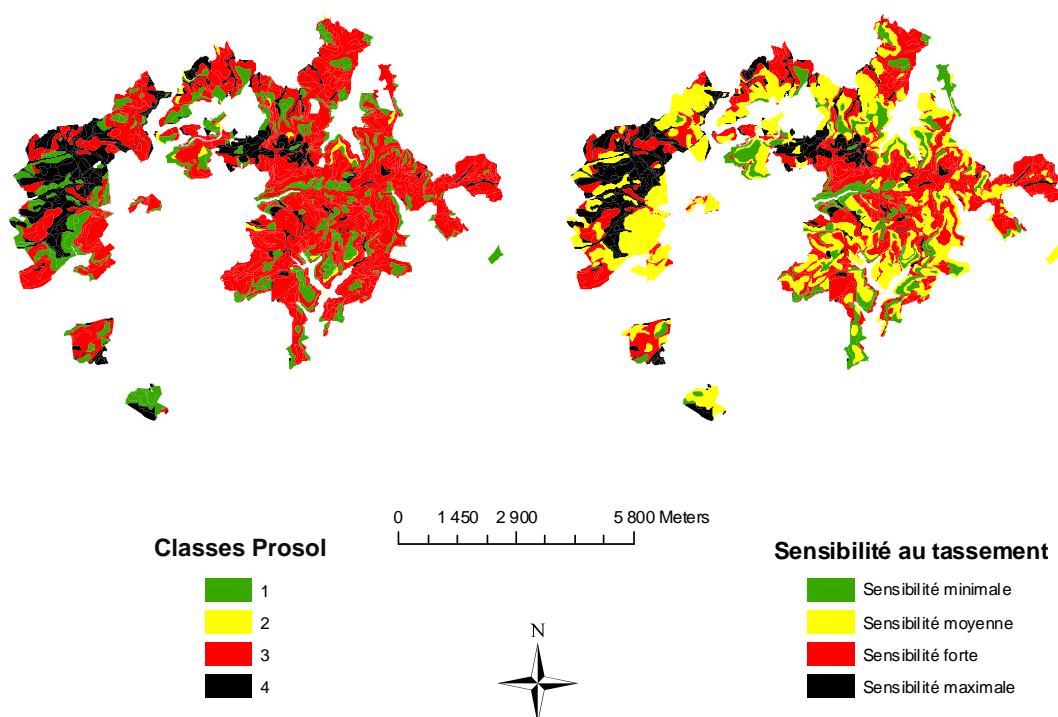


Figure 19 : Comparaison des deux cartes de la forêt de Saint-Gobain.

Les classes de sensibilité minimale et maximale sont relativement semblables entre les deux méthodes. La principale différence est, sur la carte de droite, le redécoupage de la classe 3 du guide Prosol (80 % de la surface du massif sur la carte de gauche) en deux niveaux de sensibilité distincts (appelés sensibilité moyenne et sensibilité forte, représentant respectivement 25 % et 45 % du massif sur la carte de droite).

Après vérification, il s'avère qu'une partie des incohérences de la première méthode a été corrigée. Il reste cependant quelques erreurs, peu nombreuses, qui peuvent être dues aux relevés initiaux des données Maucorps. Les cartes ont été étudiées et comparées par les responsables d'UT, puis par plusieurs agents qui ont pu vérifier plus en détail sur leur secteur.

Les améliorations apportées à la cartographie semblent donc mieux correspondre à la réalité du terrain. Le niveau de précision et de justesse de la carte finale sont satisfaisants. Elle hiérarchise plus finement les risques de tassement.

La cartographie de la sensibilité des sols est la première étape de cette étude. Elle est primordiale puisqu'elle hiérarchise les parcelles selon un niveau de risque. Elle discrimine un certain nombre de stations aux conditions particulièrement difficiles et permettra de prioriser les interventions préconisées dans les autres cas.

### 3.2 Rapide bilan des pratiques d'exploitation forestière rencontrées

#### 3.2.1 Homogénéité des systèmes d'exploitation sur l'échantillon

L'échantillonnage des chantiers avait pour objectif initial de rendre compte de la variabilité des systèmes d'exploitation employés sur les trois massifs.

Voici le constat qui peut être fait :

- Toutes les exploitations dans les peuplements feuillus ont été réalisées par abattage manuel, puis débardage des grumes au skidder et débardage du bois d'industrie par porteur.
- Toutes les éclaircies en peuplement résineux ont été réalisées par abattage mécanisé puis débardage par porteur.
- La consigne de circulation à mi-charge a été donnée sur un seul chantier. Sur quelques coupes, une couche de rémanents de faible épaisseur a été déposée. Aucun équipement particulier visant à réduire les impacts au sol, tel que les tracks, n'a été recensé.

Le parc de matériel est lui aussi très homogène, typique du système d'exploitation cité précédemment. La liste des principaux engins forestiers rencontrés est disponible en annexe 5.

La figure 20 présente la seule « originalité » de l'échantillon. Ce porteur pèse 2,8 tonnes et est équipé de huit roues de 400 mm de largeur (15 tonnes et huit roues de 800 mm de largeur pour un Timberjack 810).



Figure 20 : Un porteur léger utilisé par un exploitant forestier de l'Aisne.  
Photographie : SARL Mont-frères, Saint-Nicolas-au-Bois, Aisne.

#### 3.2.2 Un bilan préoccupant concernant la surface circulée moyenne

Le protocole harmonisé européen a déjà été employé dans plusieurs autres études. L'AFOCEL, en particulier, l'a utilisé pour établir un bilan de la performance environnementale des chantiers d'exploitation, qui prend en compte les aspects de qualité des sols.

Sur 48 chantiers répartis sur toute la France, les pourcentages de surface circulée, de surface orniérée et d'arbres blessés ont été relevés. Ils ont ensuite été répartis dans cinq catégories de qualité.

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Surface circulée	0<%<15	15<%<25	25<%<33	33<%<40	>40%
Surface orniérée	0%	0<%<3	3<%<5	5<%<10	>10%
Pourcentage d'arbres blessés	0<%<2	2<%<5	5<%<10	10<%<20	>20%

Figure 21 : Notation de la performance écologique des chantiers selon l'étude AFOCEL (d'après Cacot, 2006).

Ces seuils ont été mis en place de façon empirique, après études de cas et discussion avec des gestionnaires.

Nous avons vu précédemment que le critère « surface orniérée » était très difficile à traiter. Il ne sera pas étudié plus en détail. De même, les arbres blessés n'ont pas été étudiés dans le cadre de l'étude en Picardie.

Les chantiers diagnostiqués par l'étude AFOCEL étant complètement différents de ceux de l'étude en Picardie, nous n'essaierons pas d'effectuer de comparaison. Il est par contre intéressant de regarder comment se répartissent les parcelles de l'échantillon dans les différentes classes définies en ce qui concerne la surface circulée.

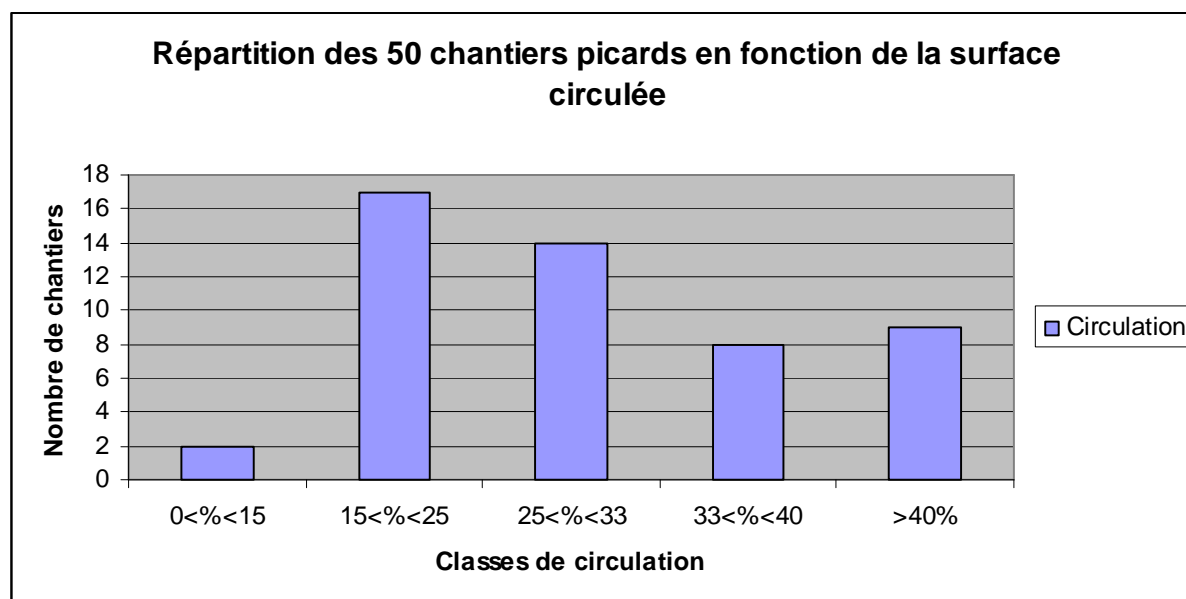


Figure 22 : Répartition des chantiers dans les notes de qualité pour le critère « pourcentage de surface circulée ».

Dans toute cette étude, les chiffres de pourcentage de surface circulée donnés comprennent les points relevés sur les cloisonnements. À titre d'exemple, si une parcelle cloisonnée à 24 m d'entraxe est circulée à 25 %, cela signifie que 8 % de la surface de la parcelle a été circulée en plus du réseau de cloisonnements qui représente théoriquement 17 % de la surface totale.

Les critères d'obtention de la note « Très bon » sont très restrictifs. Il est normal que peu de chantiers obtiennent cette note. Bon nombre de chantiers obtiennent la note « bon », preuve que les

critères fixés peuvent être atteints. Plus préoccupant, les catégories « moyen », « médiocre » et « mauvais » représentent 31 chantiers sur 50, soit plus de 60 %.

**Le constat a mis en évidence sur l'échantillon des 50 parcelles une surface circulée moyenne relativement élevée : 30,1 % de la surface totale. Nous avons vu dans les rappels que la surface circulée sur une parcelle est le meilleur moyen d'évaluer la gravité des dégâts liés au tassement. La suite de l'étude a donc pour but d'identifier les causes de ce pourcentage particulièrement élevé et de réfléchir aux solutions à préconiser.**

### 3.3 Analyse des causes du taux élevé de circulation et préconisations associées

#### 3.3.1 L'intérêt des cloisonnements

##### 3.3.1.1 La surface circulée est plus importante dans les parcelles non cloisonnées

Ces résultats sont obtenus par ANOVA sous Statistica. Deux parcelles non cloisonnées circulées dans des proportions extrêmes ont été retirées de l'échantillon, car elles perturbaient sérieusement les tests statistiques. Même sans elles, le résultat est significatif : dans les parcelles cloisonnées, environ 75 % de la surface totale a été préservée. Dans les parcelles non cloisonnées, seulement 65 % de la surface a été préservé.

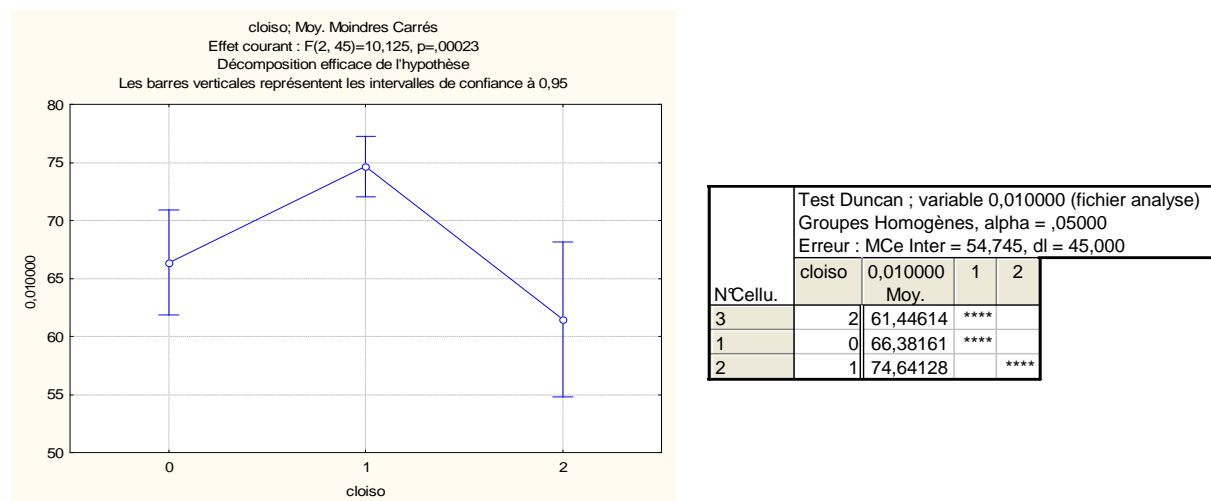


Figure 23 : Représentation de la surface non circulée (zn ordonnée) en fonction des modalités de cloisonnement de la parcelle (en abscisse). Le test de Duncan montre une différence significative entre la population 1 d'un côté et les populations 0 et 2 de l'autre.

*Population 0 : parcelles non cloisonnées*

*Population 1 : parcelles cloisonnées*

*Population 2 : éclaircies résineuses*

Sur les parcelles de l'échantillon, la présence de cloisonnement a permis de sauvegarder 10 % de la surface des parcelles cloisonnées en moyenne. C'est un résultat non négligeable qui prouve l'intérêt et l'efficacité des réseaux de cloisonnement.

De plus, dans le cas des parcelles non cloisonnées, on observe une relation entre surface circulée et prélèvement à l'hectare, ce qui accentue les dégâts en cas de coupe à fort prélèvement, ce qui explique l'intervalle de confiance beaucoup plus important pour les parcelles non cloisonnées. Cette tendance ne se retrouve pas pour les parcelles cloisonnées.



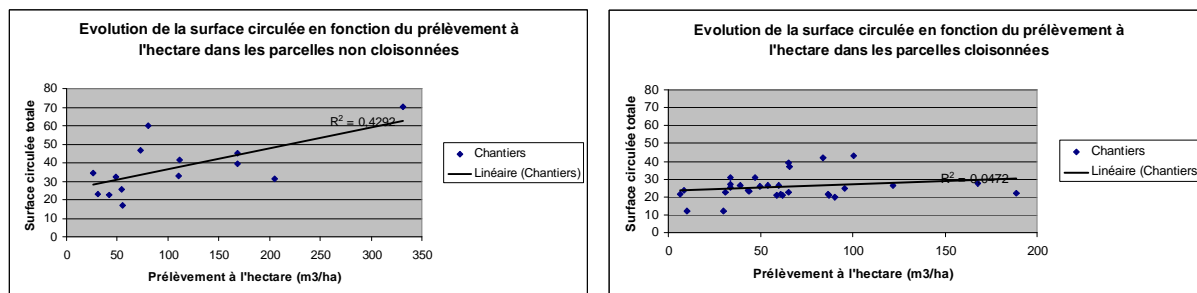


Figure 24 : Évolution de la surface circulée en fonction du prélèvement à l'hectare pour les parcelles cloisonnées et non cloisonnées.

### 3.3.1.2 Quelques règles à rappeler concernant l'ouverture des cloisonnements

En ce qui concerne les forêts de Retz et Saint-Gobain, on estime qu'environ 70 % de la surface totale des massifs est cloisonnée. La surface cloisonnée en forêt de Saint-Michel est plus faible. Cela s'explique par les contraintes liées à l'eau : beaucoup de parcelles sont traversées par plusieurs cours d'eau, ou correspondent à la classe 4 du guide Prosol, deux cas de figure où le cloisonnement systématique n'est pas judicieux.

- Pour les parcelles qui n'ont pas encore été cloisonnées, deux points importants sont à souligner.

**L'ouverture des cloisonnements doit être systématiquement réalisée avant la sortie des autres produits de la coupe.** Les exploitants vidangent les produits selon leurs besoins, y compris les arbres du futur cloisonnement, ce qui fait que celui-ci est parfois ouvert en fin de coupe seulement. On revient dans ce cas à une circulation anarchique, comme sur une parcelle non cloisonnée. De plus, le conducteur de l'engin ne sera quasiment jamais passé dessus et aura marqué physiquement d'autres chemins, ce qui amènera des confusions lors des opérations suivantes. Il faut donc envisager :

- dans les parcelles où le volume martelé sur les cloisonnements (et la qualité) est suffisant, de faire un lot exclusif avec ces arbres, en regroupant par exemple plusieurs parcelles dans un même lot.
- Sur les autres parcelles, de signaler en clause particulière que les cloisonnements doivent être ouverts préalablement à toute autre opération.

**Il n'est jamais trop tard pour cloisonner une parcelle.** Il pourrait sembler que l'ouverture de cloisonnements dans un peuplement mûr, voire âgé, entraîne le sacrifice d'arbres à plus haute valeur, pour un résultat sur le long terme difficile à percevoir puisque la phase de régénération approche. Il est également plus compliqué à matérialiser.

Cependant, les dernières opérations sont généralement les plus lourdes en termes de prélèvement. Elles vont également se succéder à un rythme plus élevé. Non cloisonnées, elles sont les coupes les plus à risque du point de vue des sols.

### 3.3.1.3 Le cas problématique des peuplements résineux

Dans l'échantillon de parcelles, on peut également isoler la population des éclaircies en peuplement résineux. Elles sont considérées comme des parcelles cloisonnées (éclaircies systématiques prélevant une ligne sur trois, quatre ou cinq). Les pénétrations d'engins hors des voies de circulation sont très rares. Cependant, le taux de prélèvement souvent important (une ligne sur trois dans la majeure partie des cas) est à l'origine d'un taux de circulation important : entre 35 et 55 % de

la surface des parcelles concernées. Cela pose un réel problème puisque les engins utilisés sont généralement lourds (une abatteuse pèse en moyenne 24 tonnes, les porteurs utilisés ont la capacité nécessaire pour assurer un rendement élevé), et les stations sur lesquelles ils ont été plantés souvent problématiques (par exemple, les plateaux limoneux de la forêt de Saint-Michel).

Dans le cadre des systèmes d'exploitation mécanisée (abattage et débardage), ce problème semble sans solution. Il faut envisager ici l'emploi de techniques nouvelles qui permettraient, au moins, d'espacer les bandes de circulation des tracteurs. Voici quelques exemples que l'on peut citer :

- l'abattage mixte (mécanisé au bord des voies de circulation, manuel au centre des inter-bandes) permettrait d'éloigner les couloirs de circulation.
- Le câble aérien minimiserait la surface perturbée.
- On peut imaginer couper une ligne tous les 15 m et éclaircir plus fortement entre ces lignes pour faciliter les manœuvres du bras de l'abatteuse.

Il faut cependant garder à l'esprit que les produits de ces coupes n'ont pas une valeur très élevée (premières éclaircies de résineux).

**L'échantillon a pu être séparé en trois populations distinctes. À quelques exceptions près, des cloisonnements seront ouverts dans un futur proche dans les parcelles non cloisonnées. La suite de l'étude va donc se concentrer sur la variabilité des dégâts dans les parcelles cloisonnées.**

**La surface circulée moyenne dans les parcelles cloisonnées est de 25 %, cloisonnements compris. Cependant, les valeurs extrêmes varient entre 20 % et 40 %, soit plus du double de la surface théorique de 17 % d'un système cloisonné tous les 24 mètres.**

### **3.3.2 La nécessité d'une matérialisation correcte des cloisonnements**

#### *3.3.2.1 La surface circulée dépend fortement de la visibilité du réseau de cloisonnements*

Aucune des variables de type station, produits équipements... ne semble avoir d'incidence sur la surface circulée. On aurait pu attendre une relation logique avec le prélèvement à l'hectare (comme c'est le cas pour les parcelles non cloisonnées), ou ressentir la présence d'engins réputés pour circuler de façon anarchique (débusqueurs à grappin, porteurs...), mais rien de cela ne s'est avéré.

C'est l'indice de visibilité des cloisonnements qui semble expliquer au mieux cette variabilité.

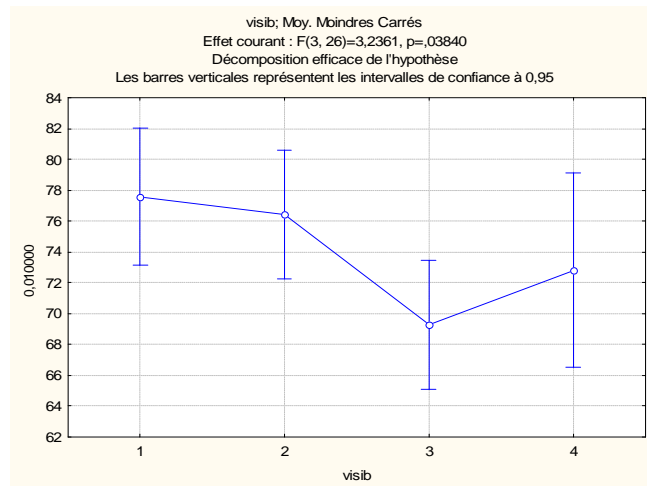
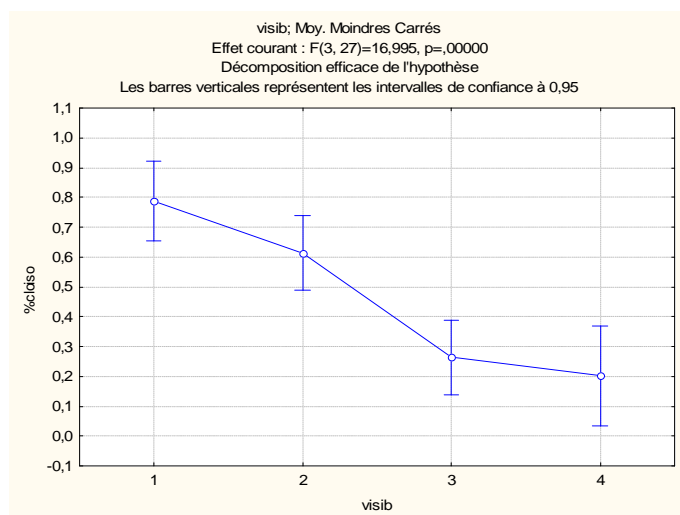


Figure 25 : Représentation de la surface non circulée (en ordonnées) en fonction de la visibilité du cloisonnement.

- 1 : le cloisonnement apparaît très nettement
- 2 : le cloisonnement apparaît nettement
- 3 : le cloisonnement n'apparaît pas nettement
- 4 : impossible de retrouver le réseau de cloisonnement

Une rupture se dessine entre les parcelles où les cloisonnements apparaissent nettement et celles où ils ne sont pas aussi bien détectables. L'annexe 7 présente quelques photographies des différentes classes de visibilité.

Ce résultat se confirme si on regarde le taux de respect des cloisonnements, c'est-à-dire le nombre de points circulés dans les cloisonnements divisé par le nombre total de points où un engin a circulé. Ce nombre est égal à 1 si les cloisonnements sont strictement respectés.



Test Duncan ; variable %cloiso (fichier analyse) Groupes Homogènes, alpha = ,05000 Erreur : MSe Inter = ,03384, dl = 27,000 Filtres de Sélection - 'Exclure' : v41=5			
N°Cellu.	visib	%cloiso Moy.	
4	4	0,201274	****
3	3	0,263659	****
2	2	0,613856	****
1	1	0,787766	****

Figure 26 : Représentation du taux de respect des cloisonnements en fonction de la visibilité des cloisonnements, résultats de l'ANOVA montrant la différenciation de deux populations (visibilités 1 et 2 d'un côté, 3 et 4 de l'autre).

Pour assurer la normalité des résidus de cette ANOVA, une parcelle « anormale » a été éliminée de l'échantillon. Il s'agit d'une parcelle où il était extrêmement difficile de retrouver les cloisonnements, mais exploitée en juin sur sol très peu sensible. Il était presque impossible de retrouver les traces de passage, d'où une très faible surface circulée observée.

En résumé, dans les parcelles de l'échantillon où les cloisonnements étaient bien visibles, les conducteurs d'engin ont fait l'effort de les respecter. Dès que ces réseaux n'apparaissent pas clairement, même s'ils existent, ils sont très peu empruntés. Il n'y a pas de situation « intermédiaire ».

### 3.3.2.2 *Proposition d'un outil pour diagnostiquer la visibilité du cloisonnement et préconisations associées*

Quatre facteurs principaux interviennent dans la visibilité du cloisonnement :

- l'âge du peuplement (ce qui se traduit par l'espacement entre les arbres) : plus le peuplement est âgé, moins il est dense, et plus il offre d'opportunités de passage à un tracteur. Il est également plus facile de visualiser l'espace vide que représente le cloisonnement dans un peuplement serré.
- la végétation alentour : l'absence du taillis dans le cloisonnement est un bon point de repère puisqu'il est situé à hauteur d'homme, plus facilement repérable qu'une trouée dans les houppiers. De même la végétation au sol est souvent discontinue dans les cloisonnements et peut constituer un bon point de repère.
- la rectitude et la largeur du cloisonnement : la notion de perspective est très importante pour la visualisation du cloisonnement, particulièrement pour l'opérateur qui est à l'intérieur de sa cabine.
- la signalisation à la peinture : située à hauteur d'homme, elle est prépondérante dans la visibilité du cloisonnement. Les symboles doivent être visibles et le nombre d'arbres marqués suffisant.

L'objectif de cet outil est de caractériser de façon rapide et objective la visibilité du cloisonnement afin que l'opérateur puisse choisir les opérations à préconiser pour la rétablir. Cette caractérisation s'effectue en deux temps.

Dans un premier temps, il faut définir si l'environnement naturel favorise ou non la visualisation du réseau.

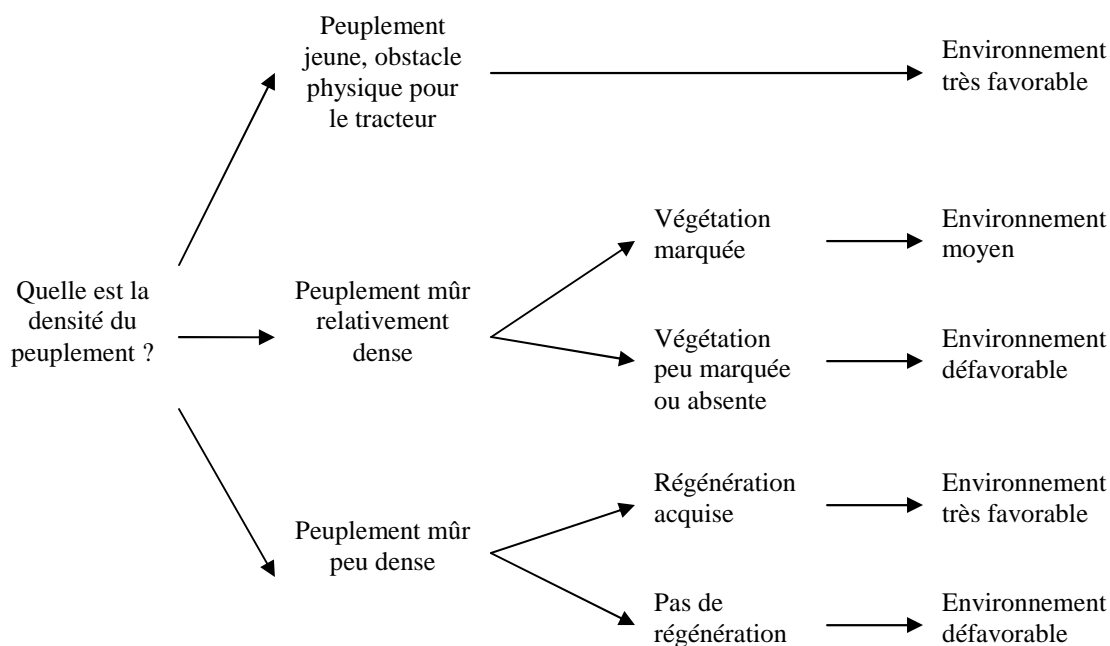


Figure 27 : Diagramme de caractérisation de la capacité du milieu à faire ressortir le cloisonnement .

Ensuite, il faut caractériser la qualité de la signalisation telle qu'elle est à l'heure actuelle. Cinq points sont à regarder en priorité. Dans le tableau suivant, trois cas sont à envisager. Si le critère est de couleur verte, il favorise la visibilité du cloisonnement. S'il est en orange, il peut être problématique selon les cas. Enfin s'il est en rouge, il représente une défaillance sérieuse de la matérialisation des cloisonnements.

Rectitude du cloisonnement	Parfaite	Correcte	Cloisonnement sinueux
Visibilité de la peinture	Nette	Effacée	On n'observe pas de peinture sur la parcelle
Intensité du marquage	Tous les arbres de bordure sont marqués	Marquage tous les deux ou trois arbres	Marquage tous les quatre arbres et plus
Report du marquage de l'autre côté de l'arbre	Systematique	Occasionnel	Jamais
Report du marquage de l'autre côté du cloisonnement	Systematique	Occasionnel	Jamais

Figure 28 : Tableau de caractérisation de la qualité du marquage des cloisonnements.

Si le peuplement représente un obstacle en lui-même à la circulation du tracteur, il n'est pas nécessaire d'intervenir sur la visibilité du cloisonnement.

Si le peuplement est moyennement propice à la visualisation d'un réseau et qu'un ou plusieurs critères de visibilité sont sérieusement défaillants (signalés en rouge sur la figure 28), une intervention est à préconiser. Sinon, elle n'est pas prioritaire (cela ne veut pas dire qu'elle ne serait pas bénéfique).

Si l'environnement est nettement défavorable, une vigilance accrue s'impose. Si un ou plusieurs critères sont défaillants (signalés en orange ou en rouge sur la figure 28), une intervention est nécessaire.

- Quelles interventions peut-on préconiser ?

- Si la matérialisation est simplement insuffisante, un complément à la peinture peut suffire. C'est une opération relativement légère : l'entretien du réseau de cloisonnement sur un hectare prend une demi-heure (d'après le guide *Les accès dans la parcelle*, CRPF et ONF Franche-Comté, 1999).
- Si la matérialisation fait vraiment défaut, il faut envisager de reprendre complètement le réseau. C'est une opération plus lourde puisqu'elle nécessite de resituer l'emplacement des cloisonnements.
- La peinture n'est pas le seul outil à la disposition du forestier : si la végétation est suffisamment développée, un passage de broyeur sur les cloisonnements d'une parcelle avant coupe augmente grandement leur visibilité. Si la végétation n'est pas assez développée, un passage de cover-crop peut avoir le même effet. Cependant, cette technique peut déjà fragiliser les sols. Ces mesures sont envisageables si la matérialisation ne peut être refaite avant coupe, ou même en complément d'un réseau bien visible.

- Le cas des coupes secondaires

Dans ces parcelles, la densité de tiges à l'hectare est très faible (donc les arbres très espacés). Il est quasiment impossible de matérialiser correctement un réseau de cloisonnements systématique dans ces conditions. Il vaut mieux travailler sur la notion de chemins d'exploitation (qui sont souvent existants dans ces parcelles), dont tous les arbres de bordure sans exception doivent être marqués.

- Le cas des coupes rases

Les coupes rases sont aussi un cas à part : elles voient disparaître tous leurs arbres, et il n'y a plus aucun moyen de repérer les cloisonnements, à part si ceux-ci sont légèrement perturbés. Les quelques cas de coupes rases de l'échantillon sont parmi les plus impactés en ce qui concerne la circulation.

Dans les peuplements de taillis sous futaie, de nombreuses tiges de petit diamètre constituent un sous-étage dense. Il est recommandé de couper à hauteur d'homme des brins de taillis le long du cloisonnement pour laisser des repères. La visualisation des cloisonnements est alors réalisée par les bûcherons eux-mêmes. Cette technique est difficile à mettre en œuvre et demande un encadrement très strict. De plus, elle n'est pas reproductible dans des parcelles de futaie régulière.

Dans ce cadre, la piste du piquetage (délimitation des cloisonnements par une série de piquets) est à envisager. Cependant cette technique est également coûteuse et peu répandue. On dispose donc de très peu d'informations sur sa faisabilité.

- Enfin, quelques idées reçues sur la matérialisation des cloisonnements sont à bannir :

- Une signalisation plus appuyée (marques de peinture plus nombreuses) n'est pas forcément un problème du point de vue paysager : ces marques ne sont visibles que depuis l'intérieur de la parcelle, où très peu de promeneurs s'aventurent. À part dans quelques cas de fréquentation du public particulièrement marquée, les marques de peinture n'ont pas à être trop discrètes.
- À partir du moment où le peuplement n'est plus assez dense pour représenter un obstacle physique à la sortie des tracteurs, le cloisonnement doit être systématiquement marqué même s'il apparaît de lui-même. La signalisation est un rappel des consignes pour l'exploitant. De plus le peuplement évolue rapidement, et les coupes modifient son aspect visuel.

### 3.3.2.3 Illustration d'une situation à risque où l'intervention du forestier est primordiale



Figure 29 : Photographie illustrant le défaut de visibilité des cloisonnements dans la parcelle 722 de la forêt de Retz. Photographie : Laurent Renouf.

Cette parcelle est un exemple typique de situation à risque : le peuplement est déjà relativement âgé (coupe d'amélioration de classe 4), mais suffisamment dense pour que la végétation au sol et le taillis soient complètement absents.

La parcelle est cloisonnée. Cependant, les marques sont discrètes et ne sont répétées que tous les trois ou quatre arbres (la seule visible sur cette photographie est entourée).

Les résultats sont parlants : pour 30 m<sup>3</sup>/ha de produits sortis pour l'instant, la surface circulée est de 38,9 %. La totalité des produits à sortir représente environ 100 m<sup>3</sup>/ha... Ce cas est d'autant plus problématique puisque, comme on le voit sur la photographie, les impacts visuels au sol sont très réduits et qu'il n'y a quasiment aucun orniérage. Sans connaissances sur le tassement des sols, on pourrait penser que l'exploitation de cette parcelle s'est bien déroulée.

Ici l'environnement naturel ne favorise pas la visibilité du cloisonnement. Il aurait donc fallu insister sur le marquage à la peinture, et en particulier sur le nombre d'arbres marqués en bordure du cloisonnement. Un passage de Cover-crop aurait immédiatement fait apparaître les chemins de vidange.

**Cette étude montre donc l'intérêt du réseau de cloisonnements. Cependant, elle montre aussi que ceux-ci ne sont efficaces que s'ils sont correctement matérialisés. Il faut maintenant étudier les facteurs qui pourraient amener les engins forestiers à sortir des cloisonnements même si ceux-ci sont correctement signalés.**

### 3.3.3 Impact d'une largeur d'entraxe de 24 mètres sur le non-respect des cloisonnements

En Picardie, jusqu'à présent, la distance entre les milieux de deux cloisonnements consécutifs (entraxe) était fixée à 24 mètres. Toutes les parcelles cloisonnées de l'échantillon obéissent à cette

règle. Cependant, le guide pour une exploitation respectueuse des sols préconise de passer, pour les parcelles qui ne sont pas encore cloisonnées, à un espacement compris entre 14 et 18 mètres au maximum pour les jeunes peuplements, puis de n'utiliser dans les opérations futures qu'un cloisonnement sur deux. Cela se justifie par la difficulté qu'auraient, à l'heure actuelle, les porteurs à aller chercher les produits au milieu de l'entraxe (le bras d'un porteur fait 6 à 7 mètres de long) dans les peuplements jeunes.

Sur l'échantillon de 31 parcelles cloisonnées, la surface circulée moyenne est de 25 %, en sachant que :

- Pour la population des parcelles dans lesquelles les cloisonnements sont bien visibles, elle descend à 22 %.
- Cette surface circulée prend en compte les tournières, contre-allées et autres passages d'engins d'un cloisonnement à l'autre qui sont inévitables (même dans un système à 15 m).
- Cette surface circulée prend en compte le fait que dans les peuplements âgés les cloisonnements mesurent plus de 4 m de large, du fait de l'espacement de plus en plus grand entre les arbres. Cela aussi est inévitable dans un système de cloisonnement à 15 m.
- En ce qui concerne l'échantillon de parcelles cloisonnées étudié, il semble n'y avoir aucune relation significative entre la surface circulée et le volume de bois sorti par porteur (que ce soit petit bois et houppier ou uniquement petit bois).

Sur les 5 % de différence entre surfaces circulées potentielle et réelle dans une parcelle bien cloisonnée, seuls 1 ou 2 % pourraient être imputés à des difficultés d'accès aux produits. Dans un système de cloisonnements plus serrés, on compterait donc au minimum 2 ou 3% de surface circulée en plus, indépendants de la sortie des petits bois.

Il faut ajouter à cela qu'on ne connaît toujours pas avec précision les effets des cloisonnements sur la circulation latérale des fluides dans le sol. Un maillage plus serré ne peut qu'augmenter la compartimentation.

Enfin, l'idée de ne passer que sur un cloisonnement sur deux le reste de la vie du peuplement est bonne en théorie, mais semble extrêmement risquée en pratique, puisqu'il suffira d'une erreur pour compromettre tout le bénéfice de la démarche (or le peuplement va subir jusqu'à une dizaine d'opérations).

Tous ces arguments amènent à envisager avec prudence le rapprochement des cloisonnements, en particulier sur les sols les plus sensibles.

Deux éléments importants amènent à nuancer ce résultat :

- L'échantillon ne concerne que 31 parcelles, qui n'ont pas été choisies spécifiquement pour traiter cette question. Les très jeunes peuplements y sont peu représentés. Il faudrait étudier un échantillon de parcelles sur lesquelles on ne prélève que des bois de petites dimensions.
- Les transects réalisés lors des relevés de terrain sont tracés perpendiculairement aux cloisonnements. Ils sont donc relativement parallèles aux sorties d'engins, ce qui peut amener à sous-estimer leur nombre.

Ce point de vue reste donc discutable, et nécessiterait sans doute des recherches spécifiques supplémentaires.

### **3.3.4 La vidange des très gros bois : une opération à risque pour les sols**

#### *3.3.4.1 La praticabilité des cloisonnements influe sur la surface circulée*

Le tableau ci-dessous présente les taux de perturbations supérieures à 15 cm et supérieures à 30 cm **sur les voies de vidange** dans les parcelles cloisonnées. Les couleurs jaune, bleu et rouge correspondent à trois catégories de dégâts explicitées par la suite.



Parcelle (toutes forêts confondues)	Pourcentage de la surface de cloisonnements perturbés sur plus de 15 cm de profondeur	Pourcentage de la surface de cloisonnements perturbés sur plus de 30 cm de profondeur
2088	0,0%	0,0%
3020	0,0%	0,0%
3021	0,0%	0,0%
2001	0,0%	0,0%
3032	0,0%	0,0%
742	0,0%	0,0%
912	0,0%	0,0%
722	0,0%	0,0%
238	0,0%	0,0%
234	0,0%	0,0%
966	0,0%	0,0%
741	0,0%	0,0%
755	0,0%	0,0%
204	0,0%	0,0%
203	0,0%	0,0%
3096	0,0%	0,0%
1159	0,9%	0,0%
1030	2,2%	0,0%
1138	2,9%	0,5%
335	3,0%	2,0%
3046	4,1%	0,0%
1060	4,1%	0,0%
2129	4,8%	1,2%
92	5,8%	0,0%
321	11,8%	5,9%
652	3,4%	0,0%
1128	9,6%	5,1%
1102	12,7%	0,0%
432	16,9%	4,6%
1013	17,7%	5,7%
314	37,0%	25,0%

Figure 30 : Pourcentage de perturbations sur les cloisonnements dans les parcelles cloisonnées.

Rappel : les zones de dépôt, qui risquent d'être plus perturbées, ont été soigneusement évitées. Il s'agit uniquement de dégâts relevés à l'intérieur des parcelles.

On observe trois populations bien distinctes :

- Les parcelles en jaune ne présentent aucune perturbation de plus de 15 cm de profondeur. Ce sont celles où l'état des cloisonnements est le mieux préservé.
- Les parcelles en bleu correspondent à un niveau de dégradation intermédiaire : pas de perturbation maximale, mais une partie des cloisonnements a été creusée sur plus de 15 cm de profondeur
- Les parcelles en rouge sont les plus sévèrement dégradées. Environ 5 % des cloisonnements sont fortement endommagés. On y observe un cas extrême, la parcelle 314 de la forêt de Retz.

La parcelle 652 ne présentait aucune perturbation sévère, mais elle a été remise en état sur plusieurs centaines de mètres. Après discussion avec l'agent responsable, elle a été incorporée à la population rouge sans hésitation.

Les dégradations de la parcelle 1102 n'ont pas été classées dans la catégorie 30 cm et plus, mais elles ont été considérées suffisamment graves pour entraver la circulation des engins (certains cloisonnements ont d'ailleurs été élargis à 7 mètres par endroits). Elle a donc été ajoutée à la troisième population.

Enfin la parcelle 321 (dernière parcelle en bleu, séparée des autres) est à traiter avec prudence : elle possède les mêmes caractéristiques que la population rouge, mais seuls cinquante points environ ont été relevés sur les cloisonnements du fait de leur faible visibilité. J'ai fait le choix de ne pas l'inclure dans cette population.

Il y a un effet de seuil assez marqué entre ces trois populations, en particulier en ce qui concerne la classe des parcelles les plus perturbées. Ces perturbations sont plutôt de l'ordre de 60 à 70 cm de profondeur plutôt que de 30 cm.

On peut comparer la surface circulée moyenne selon la population.

Population :	Cloisonnements non endommagés	Cloisonnements faiblement endommagés	Cloisonnements <b>fortement endommagés</b>	Totale
Surface circulée	24,8 %	24,1 %	<b>26,6 %</b>	25,4 %

Figure 31 : Surface circulée moyenne dans les différentes populations de parcelles cloisonnées.

Il est difficile de faire une analyse statistique rigoureuse sur ces chiffres car les populations ne sont pas assez nombreuses. Cependant une tendance apparaît : les perturbations les plus sévères provoquent une légère augmentation de la surface circulée.

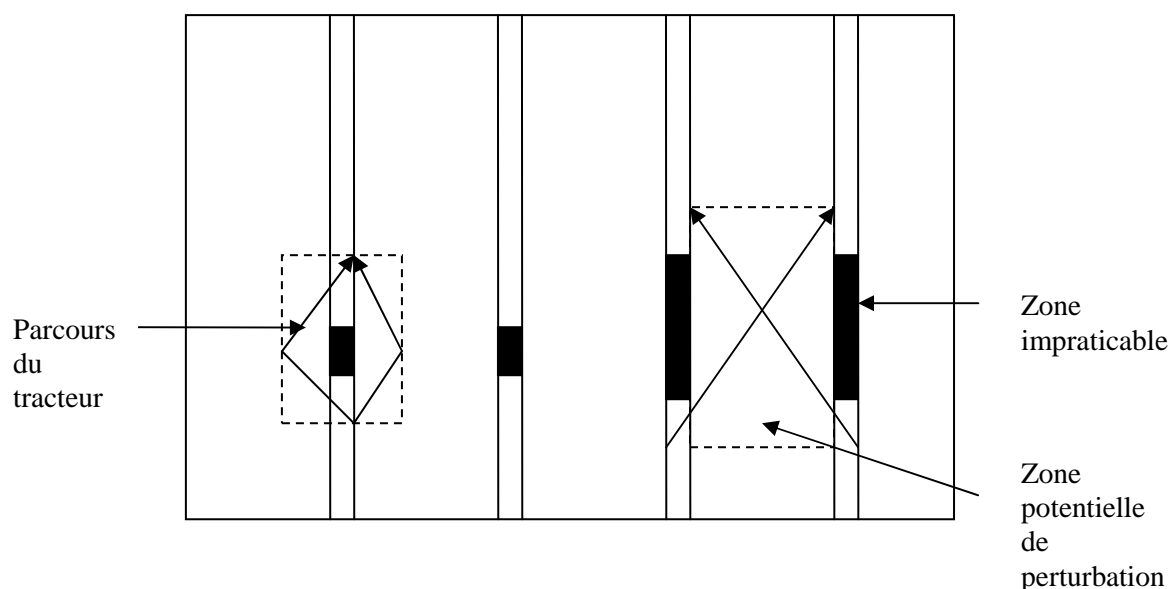


Figure 32 : Schéma présentant les risques de circulation anarchique en cas de destruction des cloisonnements. À gauche : perturbation accidentelle, à droite : perturbation continue.

La figure 32 explique ce phénomène : si le cloisonnement est rendu impraticable sur une faible longueur, les engins forestiers contournent la zone et provoquent une légère augmentation de la

surface circulée. Si la perturbation est continue sur une grande longueur, le risque s'accroît puisque la circulation redevient anarchique dans l'interbande.

### 3.3.4.2 La vidange des très gros bois pourrait expliquer les perturbations les plus sévères

Les six parcelles les plus endommagées correspondent à des stations sensibles du point de vue des sols et ont été exploitées en période humide (novembre, décembre ou janvier). Elles ne sont cependant pas les seules dans ce cas là.

Les tests statistiques dits BRT permettent d'expliquer l'appartenance ou non à une population donnée en fonction d'autres facteurs. Réalisés sur les 31 parcelles cloisonnées de l'échantillon, ils permettent de mettre en évidence les facteurs qui font que six parcelles ressortent nettement par rapport aux autres. La figure 33 illustre le résultat de ce test : c'est le pourcentage de gros bois dans les produits de la coupe qui semble largement prédominant sur toutes les autres variables analysées.

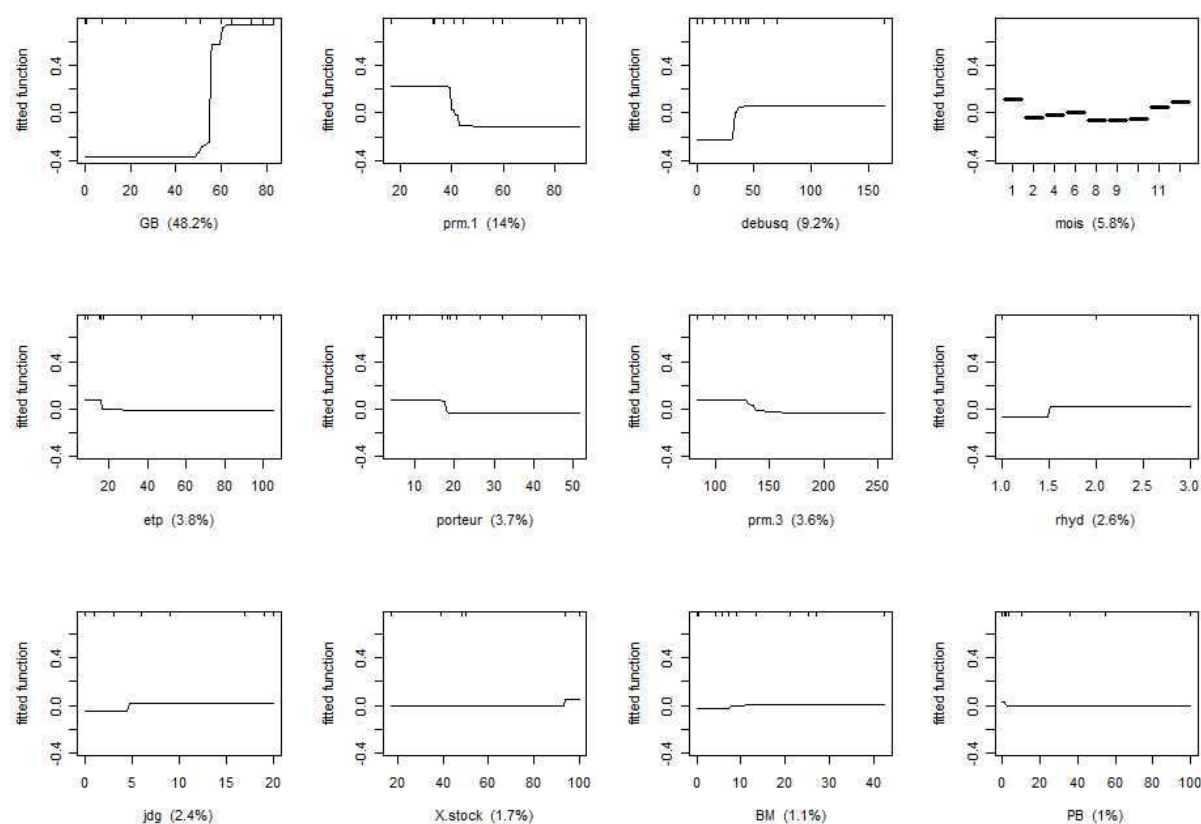


Figure 33 : Résultats du test BRT. La variable « pourcentage de gros bois » (GB) prédomine largement. Les abréviations des autres variables sont expliquées en annexe 3.

On aurait pu s'attendre à une redondance entre une part élevée de gros bois dans les produits et un prélèvement à l'hectare fort, ce qui aurait signifié que les dégâts étaient dus à l'intensité de l'opération de coupe. Cependant, le prélèvement à l'hectare n'est pas du tout apparu comme un facteur explicatif. Au sein même des parcelles les plus endommagées, il est très variable.

Ces six parcelles ont un autre point commun : une part importante de produits est constituée de très gros bois (TGB) de 75 cm de diamètre et plus.

Parcelle	Prélèvement à l'hectare (m <sup>3</sup> /ha)	Part des TGB dans l'ensemble des produits (%)	Volume de TGB prélevé à l'hectare (m <sup>3</sup> /ha)	Nombre de TGB prélevés à l'hectare (arbres/ha)
652	167	31	51,7	7,1
1128	54	15,4	9,3	1,4
1102	189	17	26,3	3,4
432	62	11	11,6	2
1013	39	21	7,9	1,3
314	32	9,2	13,3	2,3
Population jaune	54	4,8	4,3	0,7
Population orange	59	5,8	3,1	0,6

Figure 34 : Quelques caractéristiques de coupe ayant rapport aux très gros bois dans les différentes populations de parcelles.

L'état de dégradation avancée des cloisonnements pourrait donc être lié à la sortie des très gros bois. Ces bois de 75 cm et plus atteignent des poids de 5 tonnes, voire de plus de 8 tonnes pour les plus gros.

Pour traîner un tel poids, le skidder doit développer une puissance beaucoup plus importante que pour des grumes de plus petit diamètre (moyens et gros bois). Cette puissance s'exprime au niveau des roues de l'engin, à l'interface entre les crans et le sol. Ce dernier semble incapable de résister aux contraintes qui lui sont appliquées.

On peut émettre l'hypothèse que ces dégradations prononcées ne sont pas dues à un tassement plus intensif qu'ailleurs, mais plutôt à un phénomène de décapage du sol très marqué.

Cette hypothèse est jugée plausible par les spécialistes en déformation du sol (Pauline Défossez, chercheur INRA à Laon, Alain Brêthes, pédologue) interrogés à ce sujet. De plus, sur la photographie suivante, on voit que les bouvrelets latéraux sont très peu marqués pour des ornières de cette profondeur, ce qui est typique de la déformation d'un sol au-delà de la limite de plasticité (tassement avec fluage).



*Figure 35 : Perturbation sévère sur un cloisonnement de la parcelle 1013 en forêt de Saint-Gobain.  
Photographie : Laurent Renouf.*

Enfin, cinq autres parcelles recensées qui n'ont pas été prises en compte dans l'échantillonnage présentent les mêmes types de dégradation, pour les mêmes types de produits.

Cependant, cet effet des très gros bois est certainement combiné à la période de l'année et à un fort degré de sensibilité des sols, voire d'hydromorphie. Tous les chantiers concernés par ces dégradations se sont déroulés entre novembre 2008 et janvier 2009. Cela correspond à la période de l'année où les sols sont les plus humides, donc plus plastiques.

#### *3.3.4.3 Des mesures peuvent être prises pour prévenir ce phénomène*

En termes de gestion, c'est un problème beaucoup plus complexe à résoudre que celui de la matérialisation des cloisonnements, puisque les implications économiques sont très importantes.

- Les très gros bois sont les produits les plus recherchés par les acheteurs de coupe. Ce sont les bois de plus grande valeur : le chêne de bonne qualité s'achète à plus de 400 €/m<sup>3</sup>.
- Une fois qu'il les a abattus, l'acheteur cherche à les sortir le plus rapidement possible. En effet, à la moindre altération du bois la valeur des grumes diminue fortement, pouvant perdre plusieurs centaines d'euros par m<sup>3</sup>.
- Pour de nombreuses raisons techniques, les opérations les plus lourdes de l'exploitation forestière se font principalement en dehors de la saison de végétation, c'est-à-dire en automne et en hiver.

La sortie des très gros bois est une opération majeure qui assure la rentabilité économique d'une coupe et qui est soumise à des contraintes temporelles fortes.

Il faut donc rester pragmatique et réaliste dans les recommandations, et bien garder ces contraintes à l'esprit.

- La réglementation de la circulation en fonction des conditions météorologiques n'est pas envisageable pour le moment.

De nombreux travaux sont en cours, surtout dans le domaine agricole, sur les questions de liens entre climat, humidité du sol et déformations. À terme, l'idée est de prévoir les jours où les conditions de sol sont favorables à la circulation des engins en fonction du climat.

On pourrait imaginer s'inspirer de cette démarche pour créer un modèle similaire permettant de prédire si le sol de la parcelle est trop humide ou pas pour faire circuler un engin. Beaucoup de contraintes techniques mettent en doute la faisabilité d'un tel projet :

- Si on veut rester dans un cadre opérationnel, les précipitations sont la seule donnée climatique facilement relevable et exploitable. C'est un raccourci trop hasardeux de l'entrée climatique.
- La vitesse de ressuyage des sols (capacité à évacuer l'eau du sol) est un facteur primordial à prendre en compte. A l'heure actuelle, on dispose de très peu de données à ce sujet.
- Tous les travaux dont on aurait pu s'inspirer concernent les sols agricoles, plus homogènes que les sols forestiers.
- L'influence qu'auraient le peuplement en place et l'humus dans les relations sol-climat n'est pas clairement identifiée.

- Sur certains sols, une « période d'impraticabilité » fixe peut être instaurée.

La mesure précédemment proposée serait très contraignante du point de vue de l'organisation du travail. Un débardeur peut vidanger un peu moins de 100 m<sup>3</sup> de bois par jour dans de bonnes conditions. Il a donc besoin d'un certain nombre de jours de travail pour sortir la totalité des bois d'une coupe. Dans le contexte picard (sols sensibles et climat humide), les interdictions de circuler risquent de se succéder à un rythme très soutenu, entraînant des reports toujours plus longs et une immobilisation du parc matériel et des opérateurs.

Il serait plus raisonnable, sur certains sols, d'interdire purement et simplement la vidange des très gros bois sur une période définie avec les exploitants forestiers. Une telle préconisation définie à l'avance permettrait une meilleure organisation des chantiers dans le temps.

Quelques limites sont à souligner tout de même :

- Cette idée a même été émise par des exploitants forestiers, preuve qu'elle n'est pas irrecevable. Cependant, l'étude n'a pas permis d'évaluer le coût que pourrait entraîner l'ajout de cette contrainte.
- Une période de non-praticabilité fixée est une contrainte peu souple. Pour la saison 2008 - 2009, il se serait agi des mois de novembre, décembre et janvier. Serait-elle identique les années à venir ?
- Les coupes à très gros bois correspondent souvent à des parcelles où la régénération est déjà engagée, donc soumises à la clause de protection de la régénération qui interdit l'exploitation forestière du 15 avril au 31 août. Les contraintes temporelles y sont plus fortes qu'ailleurs.

Cette idée peut donc être envisagée, mais pas de manière généralisée.

- La découpe sur la parcelle permettrait de limiter les contraintes exercées au sol

L'interdiction de sortir les bois en toute longueur et la découpe sur la parcelle pourraient être une solution pour réduire le poids des grumes (particulièrement pour les TGB). Cependant, elle nécessite une opération supplémentaire des bûcherons, et multiplie par deux le nombre d'allers et retours du tracteur, d'où une diminution du rendement.

De plus, cela implique un bouleversement dans les habitudes des ETF : il est traditionnel en France, contrairement à d'autres pays d'Europe, de sortir les bois feuillus en toute longueur pour garder le choix de la découpe en fonction des opportunités de valorisation. Cette « perte de liberté » risque d'être beaucoup plus problématique que la simple question de diminution des rendements. Cette solution serait à favoriser dans les coupes exploitées en régie.

- Dans les cas où elles sont adaptées, les techniques alternatives seraient la garantie du respect des sols.

Les méthodes alternatives ne doivent pas être oubliées puisqu'elles permettent de s'affranchir totalement des contraintes d'humidité du sol. Étant donné le volume des produits concernés, seul le câble aérien peut être envisagé ici. Cependant les contraintes qui lui sont liées restent lourdes : le prélèvement à l'hectare doit être suffisant, les conditions d'accessibilité à la parcelle correcte, une place de dépôt doit être aménagée...

Le cas des très gros bois ajoute une contrainte supplémentaire. Le câble est limité à des charges de 4,5 à 5,5 tonnes. Cela implique une découpe sur la parcelle, puisque certains des arbres concernés dépassent huit tonnes.

Dans les cas des coupes qui répondent aux exigences techniques, cette solution est tout à fait envisageable. La recherche systématique de ces parcelles permettrait d'offrir plus de volume à un exploitant-câbliste et par conséquent de faire diminuer les prix de revient.

- La définition d'un seuil d'acceptabilité en conséquence pourrait faciliter la surveillance des chantiers

Du point de vue des exploitants, tout dégât est acceptable tant qu'il n'y a pas difficulté de franchissement et perte de rendement pour l'engin.

Cependant, d'autres facteurs sont à prendre en compte : les cloisonnements doivent également rester praticables pour des tracteurs de plus petit gabarit (type tracteur d'affouagiste), qui risquent sinon de progresser de façon anarchique dans la parcelle. L'aspect paysager est également à prendre en compte dans certaines zones des massifs forestiers.

Enfin, il ne sert à rien de mettre la limite d'acceptabilité au niveau de la transition praticable / non praticable : une fois le cloisonnement rendu impraticable, la vidange des bois devra tout de même s'achever dans ces conditions.

On pourrait en déduire une limitation des perturbations acceptables à une profondeur d'ornière légèrement inférieure à la hauteur de la garde au sol d'un tracteur moyen, de façon à limiter au maximum les sorties.

**La vidange des très gros bois est donc une opération à risque qu'il faut surveiller de près. Selon les cas, diverses solutions existent. Il faut bien réfléchir à celles qui sont les moins coûteuses, à la fois pour le gestionnaire et pour l'exploitant, pour favoriser leur application.**

### 3.3.5 Quelques pistes pour améliorer la communication entre le gestionnaire et l'exploitant

Bien qu'il n'ait pas été étudié en détail, l'influence du facteur humain (que ce soit le gestionnaire par l'intermédiaire des agents de terrain ou l'exploitant) ne peut être niée. Par exemple, certaines parcelles de l'échantillon présentant toutes les caractéristiques favorables à une dégradation marquée des cloisonnements n'ont subi quasiment aucun dégât sérieux.

Les exploitants forestiers ont autant intérêt que le gestionnaire à maintenir un réseau de cloisonnements visible et utilisable : augmentation des rendements, diminution de la pénibilité... Il est donc important de les associer dans toutes les démarches novatrices.

Le plan de circulation est un outil de communication relativement récent. Il s'agit d'un schéma de la parcelle visant à faire comprendre à l'exploitant de la coupe les raisons de la position des cloisonnements.

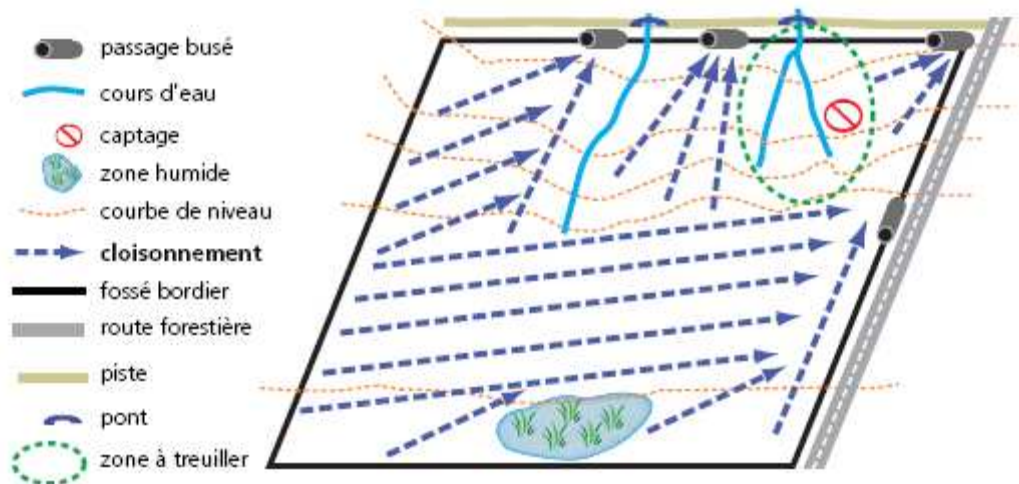


Figure 36 : Un exemple de plan explicatif d'intervention (d'après Lavaupot, 2004, modifié).

Les observations de terrain ont amené deux constats :

- Les dégâts sur une parcelle ne sont jamais répartis de façon homogène. Ils se concentrent sur un ou plusieurs cloisonnements formant un ensemble microtopographique cohérent.
- À l'échelle locale, les variations du régime hydrique (et l'apparition de l'hydromorphie) sont largement prépondérantes sur les aspects texturaux.

Les cartes établies sur ces trois massifs ont un niveau de précision et de justesse largement suffisant pour prendre en compte ces aspects à l'échelle de la parcelle.

Ceci pourrait permettre, à partir du plan explicatif de la parcelle, de :

- repérer les zones les plus problématiques (sensibilité maximale) ;
- hiérarchiser les sous-unités de la parcelle selon leur sensibilité, tout comme l'ont été les massifs.

La carte ci-dessous représente la sensibilité des sols en parcelle 314 de la forêt de Retz. Les cloisonnements sont représentés de façon schématique par des traits. Cette parcelle est composée de deux sous-unités distinctes :

- une zone saine et peu sensible au tassement dans la partie est (environ 40 % de la surface de la parcelle) ;
- une zone sourceuse (donc très humide en permanence) où la texture est à dominante limoneuse à l'ouest (environ 60 % de la surface).

Du point de vue de l'exploitation, on distingue donc :

- une zone prioritaire, en rouge, à exploiter dès que les conditions deviennent favorables ;
- une zone de repli, en noir, qu'on peut exploiter quand les conditions sont défavorables, mais depuis laquelle on peut également treuiller certains bois de la zone sensible.

En pratique, sur le terrain, les cloisonnements en rouge sont à marquer différemment des autres.

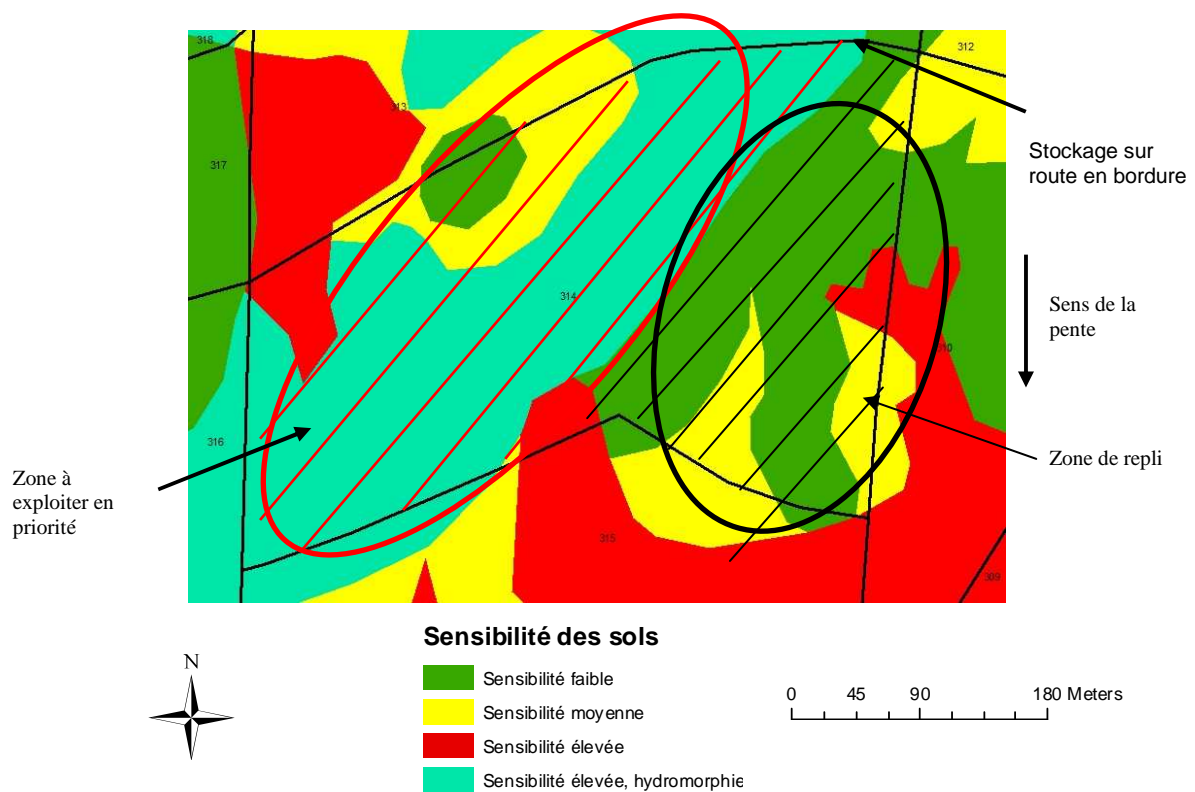


Figure 37 : Proposition d'amélioration des plans de circulation sur une parcelle à exploiter (ici parcelle 314 de la forêt de Retz).

Des réunions de sensibilisation ont été organisées en Picardie par l'Office national des forêts autour du thème du respect des sols. Elles se sont adressées aussi bien aux gestionnaires qu'aux exploitants forestiers. Elles ont été bien reçues et ont offert beaucoup d'opportunités de discussion.

Pour aller plus loin dans la communication, des réunions de travail pourraient être organisées autour de ce concept de plan explicatif. Cela permettrait de les faire découvrir à la profession des ETF, mais également de faire participer ceux-ci à leur élaboration en groupes restreints sur des cas concrets.

### 3.4 Étude d'un cas concret : le portefeuille de la forêt de Retz



En guise d'illustration, cette dernière partie se propose d'étudier sur le portefeuille de la forêt de Retz (c'est-à-dire les coupes martelées qui n'ont pas encore été vendues) l'importance de l'enjeu « sol », de regarder sur quelques cas concrets les préconisations adaptées et leurs conséquences en terme de gestion.

Le portefeuille est constitué de 80 articles, pour un total de 89 parcelles concernées.

### **3.4.1 Synthèse des résultats de l'étude : prévision du risque de dégradation du sol lors de l'exploitation**

L'outil présenté ci-dessous synthétise les résultats de cette étude et peut être utilisé pour diagnostiquer les risques de dégâts au sol pour les exploitations à venir. Il est important de rappeler la hiérarchisation de ces critères : un réseau de cloisonnement mal repéré dans une parcelle très peu sensible au tassement n'est pas du tout une priorité.

- Utilisation de la grille

L'objectif est d'identifier, pour une parcelle donnée, les différentes composantes du risque de dégât au sol. Pour chaque niveau de risque, on choisit la modalité correspondant à la parcelle en fonction de la carte de sensibilité établie, du diagnostic de visibilité des cloisonnements et de la fiche article de la coupe.

- La couleur verte correspond à un niveau de risque très faible *pour la modalité étudiée*.
- La couleur rouge correspond à un niveau de risque avéré, mais non prioritaire.
- La couleur noire surlignée correspond à un niveau de risque nécessitant des mesures immédiates.

Les autres facteurs à prendre en compte dans la décision ne correspondent pas à un niveau de risque, mais à des contraintes supplémentaires qui peuvent orienter une décision du gestionnaire en faveur de telle ou telle préconisation. La liste présentée ici n'est, bien sûr, pas exhaustive.

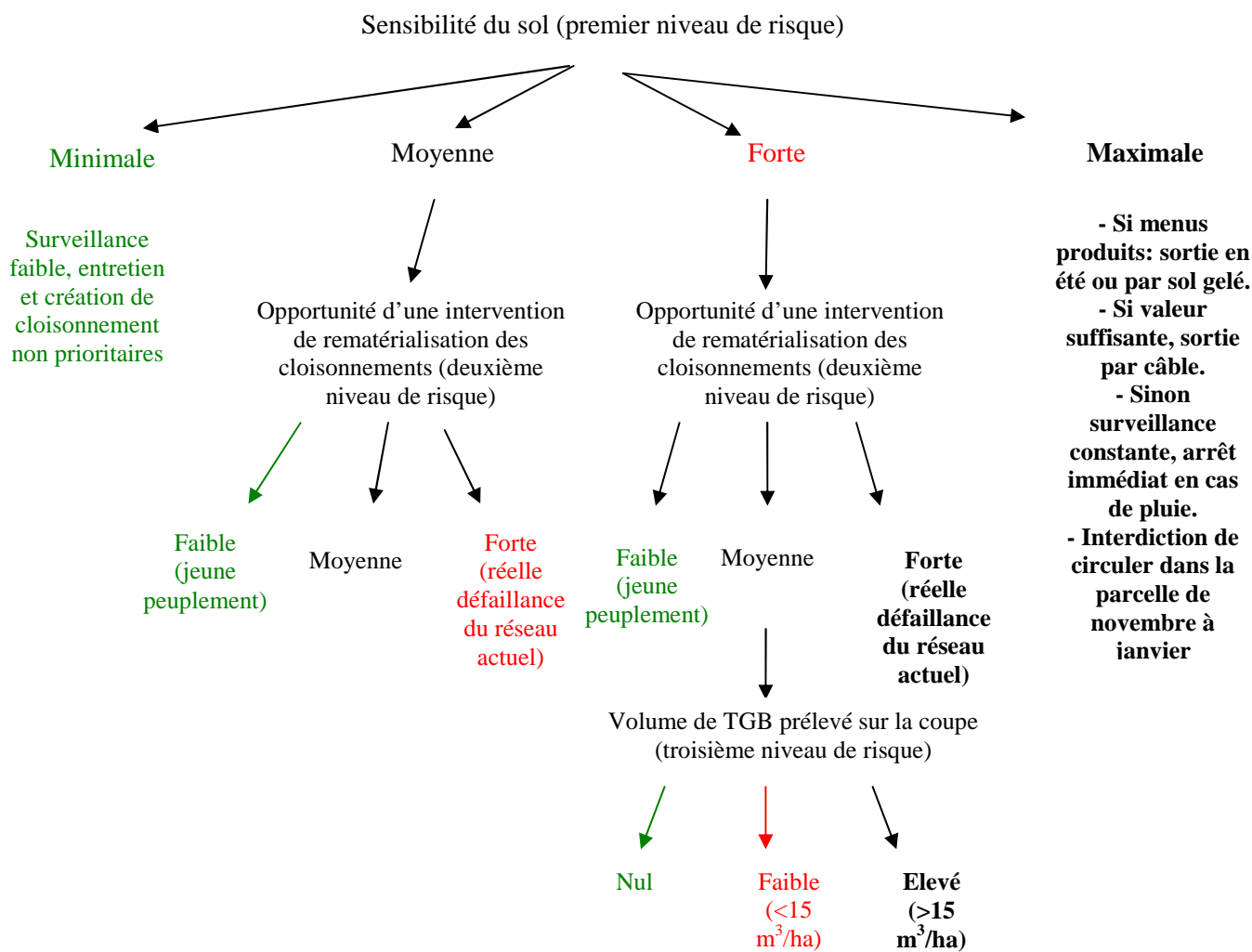
La situation est relativement simple pour la sensibilité minimale : le risque de dégrader le sol étant très faible, ces stations sont à traiter en dernier dans l'ordre des priorités. N'oublions pas que si les cloisonnements ne s'imposent pas du point de vue de la protection des sols, ils restent nécessaires pour minimiser les dégâts aux arbres et faciliter le travail des opérateurs.

En ce qui concerne la sensibilité maximale, le choix est très restreint. Les caractéristiques de ces sols font qu'ils ne sont favorables à une exploitation terrestre que de façon anecdotique, dans des conditions climatiques très particulières.

Pour les classes intermédiaires, ce diagramme permet de mettre en rapport les risques et les enjeux et de hiérarchiser les priorités d'intervention.

Cette grille va permettre, à partir du portefeuille de la forêt de Retz, de créer des groupes de parcelles où le risque de dégâts au sol est relativement homogène et de hiérarchiser ces groupes par ordre de priorité.

Dans chacun de ces groupes, ensuite, il faut étudier les parcelles au cas par cas et choisir dans les préconisations qui ont été établies celles qui sont adaptées à chaque situation.



Autres facteurs à prendre en compte dans les décisions :  
 Valeur des produits : faible - moyenne - élevée  
 Fréquentation du public : limitée - occasionnelle - régulière

Figure 38 : Diagramme d'aide à la décision pour prévenir les dommages au sol.

### 3.4.2 Décomposition du risque « sol » sur le portefeuille

#### 3.4.2.1 Répartition des coupes par classe de sensibilité

La première étape consiste à attribuer un niveau de sensibilité des sols à chaque parcelle, d'après la carte établie.

La classe de sensibilité 1, « sensibilité minimale » est peu représentée sur la forêt de Retz, à part sous forme isolée (relief accidentel, butte de sable par exemple). Elle concerne 9,8 % de la surface. De même, bien que sensible, la forêt de Retz n'est pas « marécageuse ». La sensibilité maximale ne se rencontre que de façon anecdotique (moins de 1 % de la surface totale), et jamais à l'échelle d'une parcelle entière. Les sols hydromorphes dès la surface couvrent environ 10 % de la surface totale de la forêt. Dans le tableau qui suit, les parcelles classées dans la catégorie « hydromorphie ponctuelle » sont des parcelles où le sol est hydromorphe dès la surface sur une partie non négligeable de la surface.

C'est donc entre la sensibilité moyenne (30 %) et forte (60 %) que se répartit la majorité de la surface.

Sensibilité	Faible	Moyenne	Forte	Maximale	Hydromorphie ponctuelle	Total
Nombre d'articles	3	37	29	1	11	80
Surface (ha)	37	465	322	9	145	978
Pourcentage du portefeuille en surface	4 %	47 %	33 %	1 %	15 %	100 %

Figure 39 : Tableau de répartition des parcelles du portefeuille selon la sensibilité des sols.

### 3.4.2.2 Bilan des pratiques de cloisonnement en forêt de Retz

Sur un échantillon d'une vingtaine de parcelles, la visibilité des cloisonnements a été diagnostiquée en utilisant l'outil de diagnostic. Pour mener cette étude à bien, il aurait fallu le faire sur l'ensemble des 89 parcelles, ce qui n'a pas été possible durant le stage. Cependant, cela a permis de mettre en évidence quelques points intéressants sur les pratiques de matérialisation.

Densité du peuplement :	Jeune peuplement	Peuplement mature dense	Peuplement mature lâche
Nombre de parcelles	6	7	7
Le cloisonnement apparaît :	Nettement	Grâce à la peinture	N'apparaît pas
Nombre de parcelles	7	8	5
Rectitude :	Parfaite	Correcte	Cloisonnement sinueux
Nombre de parcelles	3	15	2
Intensité du marquage :	Tous les arbres	Tous les deux ou trois arbres	Tous les quatre arbres ou plus
Nombre de parcelles	1	12	7
Opportunité d'une intervention :	Pas de réelle nécessité d'intervention	Intervention conseillée	Intervention prioritaire
Nombre de parcelles	9	6	5

Figure 40 : Quelques résultats du diagnostic de visibilité des cloisonnements sur un échantillon de vingt parcelles.

L'implantation des cloisonnements pose peu de problèmes en forêt de Retz. Les places de dépôt étant plutôt rares, les bois sont majoritairement déposés au bord des routes forestières. Les cloisonnements arrivent donc la plupart du temps en arête sur les routes. Ce système a simplement le désavantage de créer des tournières, allées parallèles aux routes sur lesquelles le tracteur circule, ce qui augmente légèrement la surface circulée.

La rectitude, à quelques exceptions près, est bien respectée. Les parcelles où elle pose un réel problème sont très rares.

Il est par contre clair sur cet échantillon que l'espacement entre les marques est un problème majeur sur le massif. Sur la plupart des secteurs forestiers, on retrouve une marque tous les trente ou quarante mètres environ. Enfin, les parcelles où les arbres sont marqués des deux côtés de l'arbre ou du cloisonnement sont encore trop rares.

Les symboles et les couleurs employés sont extrêmement variés : sur les trente parcelles observées, sept couleurs et cinq symboles différents ont été recensés. Il existe certainement autant de pratiques que d'agents, et cela nécessiterait un recadrage au niveau du massif.

Sur les vingt parcelles diagnostiquées, neuf semblent présenter un risque faible de sortie des cloisonnements. Six présentent des défauts de matérialisation relativement mineurs au vu du type de peuplement. Cinq parcelles, de par l'insuffisance (voire l'absence) de matérialisation sont exposées à des risques importants de circulation anarchique.

### 3.4.2.3 Les risques liés au type de produits exploités

Si les peuplements en forêts de Saint-Michel et Saint-Gobain sont relativement jeunes (héritage des guerres, passé sylvicole...), la forêt de Retz est un exemple type de futaie cathédrale. L'âge des peuplements et la fertilité des sols font que les volumes à l'hectare comme les volumes unitaires moyens sont très élevés. De plus, un certain retard sylvicole a été accumulé dans le passé et l'Office national des forêts tente de le combler en ce moment.

Les coupes du portefeuille sont donc, pour une part non négligeable, des interventions importantes.

Parcelles du portefeuille	Volume de TGB prélevé à l'hectare (m <sup>3</sup> /ha)
140	16,7
448	48
805	56,4
823	63,8
824	69,6
1502	39,9
1302	22,7
1466	24,6
653	37

Figure 41 : Présentation des volumes de TGB martelés dans quelques parcelles du portefeuille. Comparaison avec la population des parcelles les plus endommagées de l'étude.

Rappelons à titre de comparaison les chiffres de l'étude précédemment décrite :

- Sur 31 parcelles cloisonnées, six présentaient des perturbations assez sévères pour gêner la progression des engins forestiers.
- Pour ces six parcelles, le volume moyen de très gros bois prélevé à l'hectare était de 17 m<sup>3</sup>/ha, cette moyenne étant largement tirée vers le haut par une parcelle.

La situation du portefeuille de la forêt de Retz est donc particulièrement préoccupante de ce point de vue. Il est impossible de prévoir l'ampleur des dégâts futurs.

### 3.4.3 Synthèse de ces résultats, préconisations :

Voici un exemple des préconisations qui pourraient être faites sur la forêt de Retz. Le tableau complet présentant les différentes populations est disponible en annexe 8.

**La population jaune :** ce sont des parcelles où la sensibilité au tassement est relativement faible, et qui ne semblent pas présenter de risques particuliers au niveau des produits. Dans les parcelles où il n'est pas visible, le réseau de cloisonnement peut être repris, mais n'est pas une priorité à l'échelle du massif.

**La population bleue :** elles ont les mêmes caractéristiques que les parcelles jaunes, mais présentent un taux de très gros bois plus élevé. Même si l'utilisation d'un système d'exploitation de type alternatif n'est pas nécessaire ici, certaines parcelles intéressantes de cette population pourraient permettre de proposer des lots attractifs aux câblistes. La parcelle 1502 est un bon exemple : elle offre plus de 1500 m<sup>3</sup> de gros bois et très gros bois de chêne à un acheteur potentiel et justifie pleinement, en association avec des coupes de plus petite ampleur, le déplacement d'une entreprise.

**La population orange :** ce sont les parcelles où la rematérialisation du réseau de cloisonnements est prioritaire. Sur certaines d'entre elles, la présence de très gros bois peut entraîner des dégâts sévères du type de ceux observés dans les parcelles sévèrement endommagées de l'étude. Elles nécessitent donc une surveillance particulière. Cependant, les volumes concernés restent relativement faibles (de l'ordre de 8 m<sup>3</sup>/ha de très gros bois), ce qui fait que les perturbations devraient rester limitées et ne pas présenter un risque important de circulation hors des cloisonnements.

**La population verte :** une dizaine de parcelles présentent une hydromorphie marquée par endroits. Elles pourraient être un bon champ expérimental pour l'intégration des sensibilités du sol dans le plan de circulation de la parcelle, avec repérage préalable à l'exploitation des zones sensibles. Elles sont à traiter comme les parcelles sensibles de la population orange, en discriminant si possible les cloisonnements « à risque » des autres.

**La population rouge :** Les produits des coupes programmées sont en grande partie de très gros bois. Il y a à la fois risque important de circulation anarchique (coupes secondaires) et de destruction des cloisonnements. C'est sur cette population que doit se concentrer la majeure partie des efforts.

L'étude approfondie des caractéristiques de ces parcelles permet de repérer les éventuelles candidates à une exploitation par câble.

Trois parcelles (448, 823 et 824) présentent des caractéristiques favorables. Les prélèvements sont supérieurs à 60 m<sup>3</sup>/ha, les gros bois et très gros bois de chêne représentent une part non négligeable du volume (donc des recettes), et l'accès y est possible, à la fois par piste et par route goudronnée. On pourrait donc y étudier une exploitation par câble, bien que le martelage n'ait pas été prévu en conséquence.

Dans le cas des parcelles à faible prélèvement qui vont être exploitées en régie, on peut décider d'effectuer la découpe des bois en parcelle pour alléger les masses traînées par les débusqueurs. Les parcelles 436 et 438 sont deux exemples intéressants qui pourraient être utilisés comme chantiers tests.

Sur les parcelles à enjeu, une interdiction de circuler peut être préconisée. La parcelle 140 est située sur la route du Faîte et traversée par un itinéraire de randonnée VTT. Le maintien du bon état des sols est donc très important. Les produits de la coupe sont exclusivement composés de gros bois et très gros bois de chêne (donc à grande valeur), ce qui pourrait inciter l'exploitant à les sortir aussi vite que possible, quelles que soient les conditions. Cependant les prélèvements sont trop faibles pour justifier une intervention par câble aérien. Dans ces conditions, on pourrait préconiser une interdiction de circuler durant les mois de novembre, décembre et janvier, malgré la clause de protection de la régénération. Il resterait à l'acheteur quatre mois et demi pour abattre et vidanger 310 m<sup>3</sup> de bois.

Enfin, pour les parcelles où ces méthodes ne peuvent être envisagées, ou considérées comme moins prioritaires, on ne peut que préconiser une surveillance accrue de la part des agents de terrain, soutenus par les services de commercialisation.

**La population noire** regroupe les quatre parcelles les plus préoccupantes du portefeuille : la combinaison d'un fort prélèvement, de volumes unitaires importants et d'hydromorphie locale pourraient faire de ces parcelles de « futures catastrophes » du point de vue des sols. L'intervention est ici absolument nécessaire. Il faut envisager, au minimum, une interdiction formelle de circuler dans la parcelle pour les mois les plus critiques.

La parcelle 104, qui se situe dans le groupe à hydromorphie ponctuelle, peut être placée dans la population noire :

- Bien que les très gros bois ne soient pas majoritaires dans la coupe, ils sont tout de même présents. Les gros bois de diamètre compris entre 60 et 70 cm sont majoritaires.
- La parcelle est située en bordure de la route du faîte, à proximité immédiate d'un projet qui ferait de ce secteur forestier l'une des aires d'accueil principales du massif.

Cette parcelle est un exemple parfait pour illustrer le fait que pour un risque qui n'est pas prioritaire, les mesures à prendre sont à pondérer en fonction des autres usages de la forêt.



*Figure 42 : Un chemin de randonnée conventionné en forêt de Retz, après exploitation d'une parcelle adjacente. Photographie : Laurent Renouf.*

Pour être complète, cette étude aurait nécessité un diagnostic précis sur toutes les parcelles. Il n'a été possible, du fait de la durée de l'étude, que d'en étudier environ le quart. Cela aurait permis de définir totalement la population des parcelles à risque sur lesquelles concentrer les efforts, et de la chiffrer en termes de surface.

Néanmoins, l'essentiel de la démarche a été expliquée. Les préconisations qui ont été faites ne sont que des propositions qui ont été émises après avoir pris connaissance du maximum d'informations récupérables.

**La palette des solutions accessibles au gestionnaire est assez variée. Chaque parcelle doit être étudiée dans le détail pour définir les préconisations qui lui sont adaptées. Il ne faut pas perdre de vue que la hiérarchisation des enjeux est la première étape du raisonnement.**

## **PARTIE 4 : BILAN, LIMITES, PERSPECTIVES DE L'ETUDE**

### **4.1 Bilan**

#### **4.1.1 Récapitulatif des résultats : démarche à adopter pour réduire les risques de dégâts au sol sur un massif.**

##### *4.1.1.1 Identifier les zones sensibles*

Si les causes de la circulation anarchique des engins sont les mêmes dans toutes les zones d'un massif, leurs conséquences diffèrent selon la sensibilité des sols. On ne peut pas mettre au même plan tous les sols. Cette première étape de cartographie de la sensibilité est primordiale puisqu'elle hiérarchise les priorités d'intervention.

##### *4.1.1.2 Offrir aux opérateurs les meilleures conditions de visibilité possibles*

L'intérêt du réseau de cloisonnements est nettement avéré, à condition que celui-ci soit bien visible. Pour ce faire, le forestier dispose des moyens classiques de matérialisation à la peinture dont il doit faire bon usage, mais peut aussi faire appel à une préparation du réseau avant coupe (broyeur, cover-crop) efficace dans les situations difficiles.

##### *4.1.1.3 Maîtriser la sortie des produits à risque*

Assurer la praticabilité des cloisonnements est également primordial. Si les grumes les plus lourdes sont responsables des détériorations les plus graves, plusieurs solutions peuvent être envisagées pour réduire leur impact :

- délimitations de période d'impraticabilité
- découpe en parcelle
- sortie par voie aérienne (exploitation par câble).

##### *4.1.1.4 Garder une vision globale de la problématique :*

Il ne faut pas oublier que les problèmes de dégâts au sol se règlent en collaboration avec tous les acteurs concernés. Les exploitants sont à intégrer dans toutes les démarches entreprises. Tous les autres facteurs sont à prendre en compte : importance économique de la coupe, importance écologique du milieu, fréquentation du public...

#### **4.1.2 L'intérêt de la méthode**

La méthode adoptée pour cette étude a eu comme atout majeur de toujours rester au contact des réalités et des acteurs de terrain.

Cela a notamment permis de mettre en place une cartographie qui semble très satisfaisante, de l'avis des acteurs locaux et de par les observations de terrain :

- Les quatre seuils font apparaître de réelles différences de sensibilité, en particulier entre la sensibilité moyenne et forte (c'était le problème de la première carte qui suivait les directives du guide Prosol).
- Elle comporte apparemment très peu d'erreurs notables et aucune qui dépasse l'échelle de la parcelle.
- La finesse des mesures permet de diagnostiquer assez efficacement des variations accidentelles à une échelle très localisée. C'est un facteur particulièrement important dans le

cas des zones hydromorphes. La parcelle 314, de loin la plus endommagée de l'échantillon, est un bon exemple de l'utilisation future qui pourrait être faite de la carte.

Cette proximité avec le terrain a également permis de donner des recommandations simples et réalistes.

- La faisabilité technique des opérations proposées a été vérifiée. Là où le doute est permis (sur le piquetage des cloisonnements, l'exploitation par câble...), les hypothèses qui les ont amenées ont été présentées et la discussion est ouverte sur de nouvelles pistes.
- De même, si la faisabilité économique n'a pu être étudiée dans le détail, les avantages et les inconvénients des solutions proposées ont été mis en balance.
- Enfin, et c'est peut-être le point le plus important, toutes ces propositions ont été discutées soit avec les agents de terrain et les services commercialisation de l'ONF, soit avec les exploitants, le plus souvent avec les trois, et jugées réalisables.

#### **4.1.3 Les résultats correspondent-ils aux objectifs initiaux ?**

La commande initiale de l'ONF était de réaliser une étude très axée vers le pratique et l'opérationnel. Les parcelles ont été hiérarchisées en fonction de leur sensibilité et les principales causes de dégâts ont été identifiées. De ce point de vue, l'étude répond bien à la demande.

Cependant, quelques questions importantes restent en suspens sur le suivi des chantiers et le lien dynamique entre humidité du sol et gravité des dégâts :

- même si elle l'a abordée, cette étude ne peut donner de réponses précises à la question « quel seuil d'humidité pour quelles pratiques ? ». En d'autres termes, elle n'a pas défini clairement les limites entre les sols secs, frais et humides, ni comment les mesurer simplement. C'est un point problématique : cette séparation est l'une des clés d'entrée proposée par le guide Prosol au gestionnaire, sans qu'on ait pu pour autant lui donner les moyens de l'utiliser.
- Le débat du dégât maximal acceptable n'est pas clos : il est évident que sur les sols et sous le climat picards, interdire l'accès à la parcelle dès que les ornières dépassent 20 ou 30 cm condamne à ne plus sortir les bois. Cette étude propose d'estimer ce seuil de façon raisonnable par rapport aux caractéristiques des engins, mais ne peut donner de chiffre précis. La concertation avec les exploitants forestiers sur ce sujet est une nécessité absolue.

#### **4.1.4 Réflexions sur les possibilités de généralisation de cette étude**

Si les préconisations de gestion peuvent facilement être étendues, il ne faut pas oublier qu'elles reposent à la base sur la cartographie de la sensibilité des sols. Que peut-on envisager en ce qui concerne l'extension des méthodes de cartographie ?

Si les cartes de sensibilité obtenues sont de bonne qualité, c'est avant tout parce qu'elles ont été construites sur les données de l'étude Maucorps. Ces données sont très exhaustives, et particulièrement précises en ce qui concerne les trois entrées retenues (texture, régime hydrique, pierrosité). De plus le nombre de relevés est important : les cartes Maucorps sont à l'échelle 1 : 10 000, un point de relevé tous les hectares environ. C'est grâce à cela que les variations localisées sont bien rendues.

La carte de la forêt de Saint-Michel a été construite d'après une méthode légèrement différente des deux autres (à partir des données d'une étude sur la potentialité forestière), qui amène forcément une simplification des situations possibles. La carte obtenue est satisfaisante et comparable aux autres, notamment à cause de la grande homogénéité de la forêt de Saint-Michel. En serait-il de même sur un massif plus hétérogène, comme peut l'être Saint-Gobain ?

À l'échelle de la Picardie, les cartes Maucorps ont été numérisées sur quatre forêts seulement : Retz, Saint-Gobain Coucy-Basse, Compiègne et Laigue. Cependant, ces forêts représentent à elles seules 37 000 ha, soit près de 50 % des surfaces forestières de Picardie gérées par l'ONF.



Sur le reste des forêts relevant du régime forestier, du régime forestier, on peut disposer des informations suivantes :

- cartes des stations plus ou moins détaillées,
- cartes mêlant peuplements et stations,
- cartes des peuplements,
- études complémentaires ayant trait au sol (celles-ci sont plutôt rares, l'étude des potentialités en forêt de Saint-Michel en est un exemple).

Dans les forêts où on ne dispose que des cartes de peuplement, il est quasiment impossible de cartographier la sensibilité des sols. Dans les autres forêts, on peut cartographier la sensibilité des sols avec plus ou moins d'incertitudes, selon la précision des informations récupérées.

Beaucoup de petites forêts communales présentent des lacunes dans la description des stations. La situation est un peu meilleure dans les forêts domaniales, bien que certains grands massifs n'aient pas encore de cartes de station.

Une base de données harmonisée des stations sur les différentes forêts picardes permettrait d'établir une cartographie des risques liés au tassement des sols. Cette méthode pourrait être comparée au travail effectué en Lorraine à partir de données IFN.

La carte qui suit est un exemple d'application de la méthode de cartographie. On dispose sur la forêt domaniale de Vauclair (Aisne) d'une carte des stations numérisées. Les indications sur ces stations sont plus ou moins précises : si les zones hydromorphes sont bien décrites, les données relatives à la texture restent vagues (de type « sol brun »). On ne peut donc que présumer de la sensibilité des sols sur certaines zones. Enfin, sur d'autres secteurs de la forêt, les indications sont nettement insuffisantes pour faire des hypothèses.

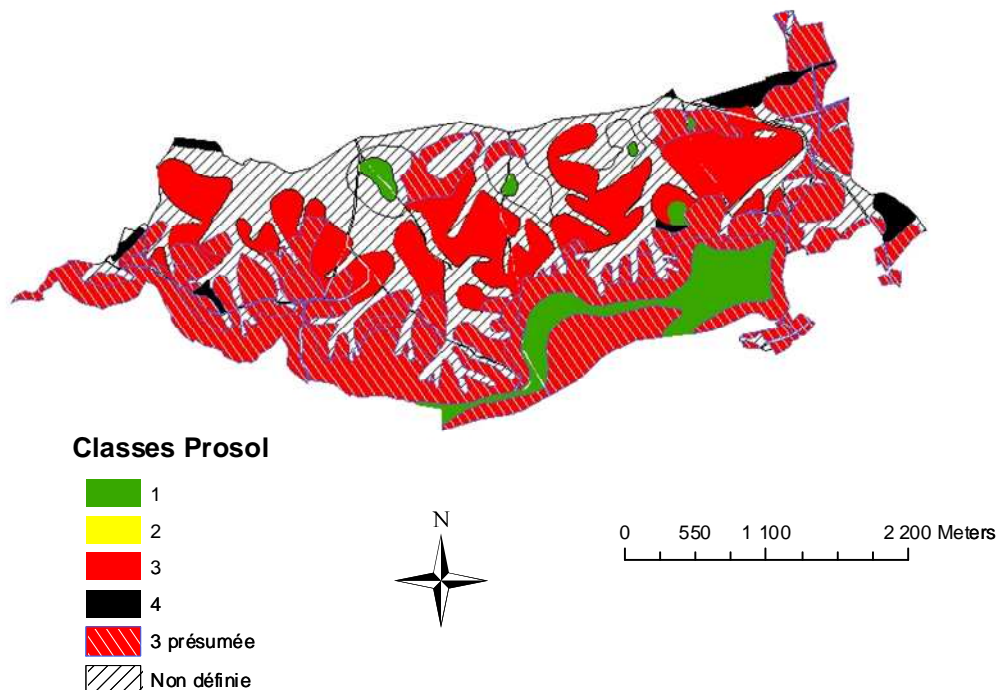


Figure 43 : Essai de cartographie de la sensibilité des sols sur la forêt domaniale de Vauclair à partir des données de station.

Enfin il est important de préciser que cette étude n'a concerné que des sols limoneux ou à proportion conséquente de limons. Quelques sols sableux ont été étudiés, mais globalement ces stations ne sont pas sujettes au tassement de sol.

La question de la validité des résultats en ce qui concerne les déformations de sol se pose sur les stations argileuses qui n'ont pas été traitées, car quasiment absentes des trois forêts concernées. Si les stations argileuses sont moins sensibles au tassement, elles sont facilement sujettes à l'hydromorphie et ont une tendance aux déformations plastiques extrêmes qui risque de favoriser la circulation anarchique.

Cette étude a donné des résultats concrets grâce aux données particulièrement précises dont on disposait sur les trois massifs concernés. La généralisation de ses résultats à l'échelle de tout un territoire nécessiterait une réflexion plus approfondie.

## **4.2 Limites de l'étude**

### **4.2.1 Les incertitudes scientifiques**

Nous l'avons vu plus tôt, le problème du tassement des sols est une préoccupation relativement récente, surtout dans le domaine forestier. Les méthodes pour le diagnostiquer restent lourdes et peu utilisables dans la gestion quotidienne. La gravité du tassement est également difficile à expertiser, puisque la recherche commence seulement à découvrir ses conséquences sur les peuplements, et n'est en aucun cas capable de les quantifier.

De plus, le fonctionnement des sols forestiers, beaucoup plus hétérogènes que les sols agricoles, est encore méconnu, surtout en ce qui concerne les liens à l'humidité, les vitesses de ressuyage...

À chaque étape de cette étude, il a fallu faire preuve de la plus grande prudence : il n'est pas évident de décliner en préconisations simples et opérationnelles des phénomènes qu'on ne maîtrise pas encore suffisamment. C'est le cas des questions initiales de l'étude, citées plus tôt, qui sont restées sans réponses ou incomplètes (en particulier toutes les questions touchant au ressuyage des sols).

Il a fallu également justifier avec le plus grand soin tous les critères analysés pendant l'étude pour assurer sa cohérence du point de vue scientifique.

De même ces lacunes sont un frein à l'utilisation du potentiel total du protocole de terrain, qui pourrait certainement apporter beaucoup plus de renseignements si on pouvait le traiter entièrement.

### **4.2.2 Le problème des diagnostics après coupe**

Du fait de l'organisation du stage (durée limitée, début de la phase terrain en février, en fin de saison de débardage), il n'a pas été possible de réaliser un suivi des chantiers en temps réel. Il a fallu mettre en place un protocole de suivi « post-chantier » qui pose un certain nombre de difficultés :

- Il y a un problème d'échelle, à la fois spatiale et temporelle, entre les données explicatives et les données à expliquer. Les dégâts au sol sont des phénomènes ponctuels et localisés. Il est donc difficile de chercher à les expliquer par des données météorologiques mensuelles, ou des données stations à l'échelle de la parcelle qui sont « lissées ».
- Il ne permet en aucun cas d'approcher le « facteur humain » qui a certainement une grande part de responsabilité dans les variations observées.
- Il implique un risque d'hétérogénéité ou d'imprécision sur un certain nombre de données (époque et matériel en particulier), puisqu'elles dépendent des agents qui les ont fournies. Par exemple, la précision des dates de passage d'engin peut aller du jour près au trimestre... J'ai essayé de réduire au minimum ce risque en effectuant un tri dans les chantiers lors de l'échantillonnage.

Si les conditions matérielles du stage l'avaient permis, on aurait pu imaginer un protocole de relevés des perturbations en continu durant le déroulement des chantiers. Il aurait entre autres permis une meilleure prise en compte des comportements humains (de ce fait, des explications peut-être plus précises sur les pratiques entraînant la dégradation des cloisonnements) et une meilleure intégration des données météorologiques dans l'étude.

Cependant, étant donné le temps imparti, il n'aurait pas été possible d'aborder la question sous un angle de suivi différent, surtout pour couvrir un éventail de situations aussi large. Le protocole utilisé a été réalisé avec toute la rigueur possible.

### **4.2.3 L'absence d'une étude économique**

Il n'a pas été possible, dans le temps imparti, de réaliser une étude économique approfondie en ce qui concerne les préconisations de gestion proposées.

Pour être complète, cette approche demanderait un long travail de réflexion : il faut comprendre toutes les implications que peuvent avoir sur la filière, par exemple, le fait d'interdire la vidange des très gros bois sur une partie de l'année. Cela va du coût de l'immobilisation d'un engin en forêt pour l'exploitant jusqu'aux problèmes liés à l'irrégularité de l'approvisionnement des industries de transformation.

De plus, le chiffrage de pareilles préconisations serait extrêmement compliqué puisqu'il faudrait l'établir en partenariat avec les acheteurs de bois en ce qui concerne l'estimation des coupes.

Enfin on peut se poser la question du véritable intérêt d'une telle étude économique, étant donné que la variable de comparaison, c'est-à-dire le coût économique du tassement, n'a pas encore été établie.

## **4.3 Perspectives**

### **4.3.1 Quel avenir immédiat pour cette étude ?**

Il est important de rappeler encore une fois que toutes les préconisations données ne sont pas à mettre au même niveau. Cette étude s'inscrit dans un contexte économique préoccupant qui ne favorise pas les mesures coûteuses.

L'évolution vers les systèmes alternatifs ne peut se faire que de façon très progressive. Les systèmes d'exploitation traditionnels sont très ancrés dans les pratiques, et le parc matériel des exploitants forestiers y est adapté. Remettre en cause de façon précipitée ces modes de fonctionnement est inenvisageable.

De plus, même si aucune étude économique précise n'a été réalisée, on peut retenir le calcul suivant :

- la matérialisation du cloisonnement est responsable de la plus grande partie de la variabilité de la surface circulée. Elle est largement prépondérante sur l'état des cloisonnements, sauf peut-être dans des cas de dégradation extrême.
- Le coût de la rematérialisation des cloisonnements est assez réduit : on trouve dans la littérature technique le chiffre d'une demi-heure de travail pour l'entretien des cloisonnements sur un hectare, soit une parcelle de 15 hectares pour une journée complète de travail.
- Le coût d'une interdiction de sortie des bois (surtout si cela concerne les produits les plus rentables) serait quant à lui forcément plus élevé, alors qu'à part dans des proportions extrêmes, la perturbation des cloisonnements entraîne des sorties accidentelles de plus faible ampleur.

Il faut donc rester réaliste quant aux applications concrètes de l'étude. Le système de cloisonnements a prouvé son efficacité. Il est donc primordial de tout faire pour que les engins forestiers l'utilisent à bon escient. La communication est également un point majeur. De belles avancées ont été faites, et la concertation doit continuer.

Cependant cette étude a mis en évidence quelques situations, comme les éclaircies de résineux, où le gestionnaire ne peut combiner les systèmes d'exploitation traditionnels et le respect des sols. L'étude menée en Haute-Marne sur le choix de systèmes d'exploitation novateurs donnera certainement des pistes de réflexion à étudier, dans la mesure du possible.

De plus, l'agence régionale de Picardie est en train de réfléchir à la mise en place de chantiers d'exploitation par câble. Cette étude permettra peut-être de les choisir le plus judicieusement possible.

### 4.3.2 Vers une cartographie dynamique

La cartographie telle qu'elle a été construite pour le moment donne un résultat statique, une gradation des risques de tassement. Il serait envisageable de travailler sur la dynamique de la sensibilité. À l'heure actuelle, le manque de connaissances sur les vitesses de ressuyage des sols nous empêche de construire de telles cartes de façon rigoureuse.

Voici cependant une piste de réflexion. Cette étude a amené à construire deux méthodes de cartographie légèrement différentes. La première, traduction directe des seuils Prosol, donne la sensibilité théorique des sols. La deuxième rend un peu plus compte de la dynamique.

On pourrait envisager de coupler la sensibilité potentielle, la qualité du drainage interne évaluée par les cartes Maucorps et les données climatiques telles que évapotranspiration-précipitations (qui rend bien compte pour une période donnée des difficultés que va avoir un sol à évacuer l'eau) pour créer des cartes dynamiques qui donnent, pour chaque mois, l'évolution de la sensibilité des sols.

### 4.3.3 Vers une meilleure compréhension des causes de destruction des cloisonnements

Cette étude semble montrer que les dégradations extrêmes des cloisonnements sont dues à des phénomènes de cisaillement, sur des sols sensibles et humides, lors de la vidange des très gros bois. Il est bien clair que ce résultat n'est à l'heure actuelle qu'une hypothèse, et bien qu'étayée par des arguments sérieux, elle nécessite d'être validée étant donnée la complexité de ses implications.

Plusieurs points nécessitent d'être éclaircis :

- La carte de sensibilité au cisaillement est-elle la même que la carte de sensibilité au tassement ? Le constat réalisé sur l'échantillon semble être en faveur de cette affirmation. Cependant, la gamme des textures n'est pas couverte dans son ensemble. Les pédologues interrogés à ce sujet n'ont pas pu donner de réponse précise à ce sujet.
- Les phénomènes de tassement et de cisaillement se produisent-ils aux mêmes taux d'humidité du sol ?
- Le phénomène est-il cumulatif (dépendant du volume de TGB prélevé à l'hectare) ou brutal (dépendant de la présence ou de l'absence de TGB) ? Quelles sont les dimensions minimales de l'arbre provoquant les dégâts (influence du volume unitaire moyen) ?
- Quel est le rôle de l'engin et de son conducteur dans l'apparition des dégâts : puissance développée par les roues motrices, type de pneus, vitesse de déplacement ?

La première étape pour répondre à ces questions sera une phase de bibliographie spécifique aux problèmes de cisaillement réalisée en collaboration avec le centre INRA de Laon à la fin du mois de juin 2009.

Dans un deuxième temps, il serait intéressant de mettre en place un protocole de suivi de parcelles à risques.

Pour chaque parcelle, il s'agirait de relever, en collaboration avec l'agent ONF et l'exploitant :

- Les conditions météorologiques (et surtout pluviométriques),
- L'humidité relative sur le cloisonnement au début de chaque journée de travail,
- Le nombre et le volume unitaire des grumes sorties par cloisonnement,
- Les modifications de l'état des cloisonnements,
- S'il apparaît, une description de l'orniérage (profondeur, présence ou absence de bourrelet...).

Un recensement des parcelles montrant les mêmes perturbations après vidange sur l'ensemble du massif (sans aller plus loin dans la description) serait un plus. Cela permettrait de valider ou d'invalider l'hypothèse, et de mieux cerner les conditions pour lesquelles le risque est le plus élevé.

## CONCLUSION

Cette étude a contribué à améliorer les connaissances sur les causes du tassement. Elle donne aussi des critères simples pour diagnostiquer les risques de dégâts sur les parcelles, et présente quelques pistes pour s'en préserver.

Elle n'a pas pu apporter toutes les réponses qui manquent encore aux gestionnaires, en particulier en ce qui concerne les questions d'humidité dans le sol, de vitesse de ressuyage et de tassement « dynamique ». Les données scientifiques à ce sujet sont encore incomplètes, mais les travaux de recherche en cours (partenariat avec la recherche agronomique, site expérimental en Lorraine...) nous apporteront sûrement des réponses dans les années à venir.

Cette étude aura aussi soulevé de nouvelles interrogations, en ce qui concerne les problèmes de dégradation des cloisonnements.

Enfin elle nous rappelle la prépondérance des réalités de terrain et de la nécessité d'un partenariat avec les exploitants forestiers : avant de chercher à comprendre dans quelles conditions les engins forestiers endommagent les cloisonnements, il faut d'abord ramener ces engins sur les cloisonnements, et uniquement sur eux.

Au cours de ces six derniers mois, le dialogue à propos du respect des sols forestiers s'est établi entre les principaux acteurs de Picardie : commerciaux, gestionnaires et agents de terrain de l'Office national des forêts, exploitants forestiers, organismes de certification... La simplicité et la fonctionnalité des mesures prescrites par cette étude, mais aussi le simple fait qu'elles semblent répondre aux attentes des acteurs de terrain laissent bon espoir de les voir porter leurs fruits. Il est dans l'intérêt de chacun, sur le long terme, de voir les pratiques évoluer.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABEELS J., 1995. Les engins en forêt. *La Forêt Wallonne*, n° 23, pp.9-12.

ASSOCIATION POUR LA RATIONALISATION ET LA MÉCANISATION DE L'EXPLOITATION FORESTIÈRE, CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT, 1993. *Manuel d'exploitation forestière*. Tome 1. Paris, 442 p.

BAILEY A. C., BURT E. C., Jun H., LANDSTROM M., LOFGREN B., Mc DONALD T. P., WAY T. R., 2004. Dynamic load and inflation pressure effects on contracts pressure of a forestry forwarder tire. *Journal of Terramechanics*, n° 41, pp. 209-222.

BAILLY M., DE PAUL M. A., 2005. La compaction des sols forestiers : définition et principes du phénomène. *La Forêt Wallonne*, n° 76, pp. 39-47.

BAILLY M., DE PAUL M. A., 2005. Effets de la compaction des sols forestiers. *La Forêt Wallonne*, n° 76, pp. 48-57.

BAILLY M., DE PAUL M. A., 2005. A propos de la pression exercée par les pneus, chenilles et sabots. *La Forêt Wallonne*, n° 78, pp. 21-33.

BAILLY M., DE PAUL M. A., 2006. Le débardage par téléphéage est-il vraiment trop coûteux ? *La Forêt Wallonne*, n° 84, pp. 16-29.

BARTOLI M., 2006. Le câble en France : évolution de la récolte par câble téléphérique (1998-2005). *Rendez-vous techniques*, n° 12, p. 9.

BARTOLI M., CHAGNON J. L., PISCHEDDA D., 2008. Pour une exploitation respectueuse des sols, des systèmes complémentaires existent. *Rendez-vous techniques*, n° 19, pp. 34-42.

BARTOLI M., BRETHERS A., CACOT E., CHAGNON J. L., GAUQUELIN X., NICOLAS M., PISCHEDDA D., RICHTER C., 2009. Guide « Prosol » : pour une exploitation respectueuse des sols et de la forêt. Guide pratique, Paris : ONF, 98 p.

BECKER S., HORN R., VOSSBRINK J., 2004. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil and tillage research*, n° 79, pp. 207-219.

BOIZARD H., BOUCHAND P., CADOUX S., CAPOWIEZ Y., RICHARD G., ROGER-ESTRADE J., RUY S., à paraître. The influence of tillage type and compaction on earthworm communities in crop fields and consequences for macroporosity and water infiltration. Article accepté.

BRETHERS A., CHARNET F., 2005. Pour une gestion respectueuse des sols. *Rendez-vous techniques*, n° 8, pp. 24-26.

BRUCIAMACCHIE M., COSTA S., IBANEZ L., 2008. Analyse économique des coûts d'exploitation d'un chantier. *Rendez-vous techniques*, n° 19, pp. 43-49.

BYGDEN G., ELIASSON L., WASTERLUND I., 2003. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics*, vol. 40, n° 4, pp. 179-190.

- CACOT E., 2001. Exploitation forestière et débardage: pourquoi et comment réduire les impacts? AFOCEL, fiche Information Forêt n° 637, 6 p.
- CACOT E. et al., 2003. Laissez une bonne impression ! Guide de gestion environnementale des chantiers forestiers. En collaboration avec : AFOCEL, MAAPAR CTBA, ONF, Entrepreneurs des territoires, FNCOFOR, FNB.
- CACOT E., PISCHEDDA D., 2005. Récolte du bois et respect du sol. Un dialogue à développer entre les acteurs. *Rendez-vous techniques*, n° 8, pp. 36-43.
- CACOT E., 2006. Observatoire des bonnes pratiques environnementales en exploitation forestière. Convention DGFAR/AFOCEL n°61.54.80.41/04. Rapport final, AFOCEL, 48 p.
- CACOT E., PEUCH D., 2006. Observatoire de l'impact des exploitations forestières. AFOCEL, Fiche Information Forêt n° 733, 6 p.
- CACOT E., 2008. Organisation des chantiers d'exploitation forestière « traditionnels ». *Rendez-vous techniques*, n° 19, pp. 30-33.
- CENTRE RÉGIONAL DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE DE FRANCHE-COMTÉ, OFFICE NATIONAL DES FORETS., 1999. Les accès dans la parcelle. Brochure d'information, 16 p.
- CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT, UNION EUROPÉENNE, 1997. Action concertée n° AIR3-CT94-2097 : protocole harmonisé européen pour les recherches dans le domaine de l'exploitation forestière. 17 p. + annexes.
- CHANZY A., MUMEN M., RICHARD G., 2008. Accuracy of topsoil moisture simulation using a mechanistic model with limited soil characterization. *Water Resources Research*, 44, W03432.
- CUI K., DEFOSSEZ P., RICHARD G., 2007. A new approach for modelling vertical stress distribution at the soil/tyre interface to predict compaction of cultivated soils by using the PLAXIS code. *Soil and Tillage Research*, n° 95, pp. 277-287.
- DE PAUL M. A., 2005. Quand le téléphérage s'installe en plaine. *La Forêt Wallonne*, n° 76, pp. 16-22.
- DISERENS E., SPIESS E., 2004. Wechselwirkung zwischen Fahrwerk und Ackerboden : TASC : eine PC-Anwendung zum beurteilen und optimieren der Bodenanspruchung. *FAT-Berichte*, 613, pp. 1-16.
- DURAND P. E., RICHTER C., 2005. Les cloisonnements d'exploitation : pourquoi et comment les protéger ? *Rendez-vous techniques*, n° 8, pp. 48-49.
- EL BAYAD J., GRUBER W., HERBAUTS J., 1998. L'impact de l'exploitation forestière mécanisée sur la dégradation des sols : le cas des sols limoneux acides de la forêt de Soignes (Belgique). *Revue Forestière Française*, vol. 50, n° 2, pp. 124-137.
- ELIASSON L., 2005. Effects of forwarder tire pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*, vol. 39, n° 4, pp. 549-557.
- FRUTIG F., LUSCHER P., THEES O., 2005. Physikalischer Bodenschutz im Wald ist kein Luxus. *Zürcher Wald*, n°6, pp. 10-13.
- INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE, 2009. *INRA mensuel*, dossier spécial « Le sol ». 183 p.

- JABIOL B., RANGER J., RICHTER C., 2000. Sol sensible ou résistant? Eléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique. *La Forêt Privée* n° 253, pp. 30-46.
- KREMER J., MATTHIES D., ZIESAK M., 2006. Le logiciel Profor® : un outil de prévention pour juger de la praticabilité des sols lors de l'exploitation forestière. *Rendez-vous techniques*, n° 14, pp. 3-8.
- LAMANDE M., LEFÈVRE Y., RANGER J., 2005. Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols. *Les dossiers forestiers*, n° 15. Paris : ONF, 131 p.
- LAMANDE M., LEFÈVRE Y., RANGER J., 2005. Perturbations au sol liées à l'exploitation forestière et conséquences pour l'écosystème. *Rendez-vous techniques*, n° 8, pp. 27-35.
- LAURIER J. P., 2004. L'évolution du bûcheronnage mécanisé en France. AFOCEL, Fiche Information Forêt, n° 700, 6 p.
- LAVAUPOT G., 2004. Pratique des cloisonnements d'exploitation dans le triage de Butten (Bas-Rhin). 2 p.
- LEWIN F., PEUCH D., 2004. Qualifier le cheminement des porteurs pour réduire les impacts sur l'environnement grâce à la technologie GPS. AFOCEL, Fiche Information Forêt n° 697, 6 p.
- LOYEN S., 2005. Régénération naturelle du hêtre en forêt de Soignes : impact de la compaction des sols. *Rendez-vous technique*, n°8, pp. 44-47.
- MCNABB D.H., NGUYEN H., STARTSEV A.D., 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 65, n° 4, pp. 1238-1247.
- MEDERSKI P. S., 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *Forest Ecology and Management*, n° 224, pp. 286-296.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2008. *Règlement national d'exploitation forestière*. Paris : ONF, 52 p.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS, 2006. *Schéma Régional d'Aménagement – Picardie*. 87 p.
- PISCHEDDA D., 2008. Evolution des systèmes de mobilisation et protection du sol : quelles sont les perspectives ? *Rendez-vous techniques*, n° 19, pp. 50-54.
- RICHARD, G., 2008. Rapport du projet DST : Dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement : conséquences environnementales et économiques. Programmes ADD de l'ANR et GESSOL du MEEDDAT. 19 p.
- ROTARU C., 1985. Les phénomènes de tassement du sol forestier dus à l'exploitation mécanisée du bois. *Revue Forestière Française*, vol. 37, n° 5, pp. 359-370.
- ROTARU C., 1983. Tassement du sol forestier et récolte mécanisée des bois. *Courriers de l'exploitant et du scieur*, n° 48/1, 12 p.
- THIEBAUT 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*, n° 3, p. 61.



## LISTE DES CONTACTS

Nom	Prénom	Fonction	Organisme	Téléphone	Adresse mail
Pilard-Landeau	Brigitte	Directrice forêt	ONF, DT IDF-NO, service forêt	03 44 20 70 44	<a href="mailto:brigitte.pilard-landeau@onf.fr">brigitte.pilard-landeau@onf.fr</a>
Lehmann	François	Directeur forêt	ONF, agence Picardie	03 44 92 57 52	<a href="mailto:francois.lehmann@onf.fr">francois.lehmann@onf.fr</a>
Lefèvre	Yves	Chercheur	UMR EER INRA Nancy	03 83 39 40 83	<a href="mailto:lefevre@nancy.inra.fr">lefevre@nancy.inra.fr</a>
Ehrhart	Yves	Enseignant chercheur	Agroparistech, centre de Nancy	03 83 39 68 72	<a href="mailto:yves.ehrhart@engref.agroparistech.fr">yves.ehrhart@engref.agroparistech.fr</a>
Colas	Sarah	Chargée de mission environnement	ONF, DT IDF-NO, service forêt	03 44 20 70 47	<a href="mailto:sarah.colas@onf.fr">sarah.colas@onf.fr</a>
Richter	Claudine	Responsable mission « biométrie expérimentations »	ONF, département recherche	01 60 74 92 27	<a href="mailto:claudine.richter@onf.fr">claudine.richter@onf.fr</a>
Brèthes	Alain	Pédologue, chargé de recherches	ONF, DT COAL, service forêt	02 38 65 02 97	<a href="mailto:alain.brethes@onf.fr">alain.brethes@onf.fr</a>
Pischedda	Didier	Expert national en exploitation forestière	ONF, siège social	01 40 19 59 11	<a href="mailto:didier.pischedda@onf.fr">didier.pischedda@onf.fr</a>
Raoul	Serge	Responsable service bois	Agence régionale Picardie	03 44 92 57 69	<a href="mailto:serge.raoul@onf.fr">serge.raoul@onf.fr</a>
Renaud	Jean-Pierre	Biométricien, spécialiste « estimations »	Campus ONF, Velaine	03 83 23 45 02	<a href="mailto:jean-pierre.renaud02@onf.fr">jean-pierre.renaud02@onf.fr</a>
Laillau	Angélique	Stagiaire ingénieur	ONF, bureau d'étude de Villers-Cotterêts		<a href="mailto:angelique.laillau@onf.fr">angelique.laillau@onf.fr</a>
Défossez	Pauline	Chercheur	UMR INRA/URCA FARE Reims	03 22 85 75 12	<a href="mailto:pauline.defossez@reims.inra.fr">pauline.defossez@reims.inra.fr</a>
Chanzy	André	Chercheur	UMR INRA/UAPV EMMAH Avignon	04 32 72 22 11	<a href="mailto:andre.chanzy@avignon.inra.fr">andre.chanzy@avignon.inra.fr</a>
Trouche	Gérard	Enseignant chercheur	AgroSupDijon		<a href="mailto:g.trouche@enesad.fr">g.trouche@enesad.fr</a>
Curmi	Pierre	Enseignant chercheur	AgroSupDijon		<a href="mailto:p.curmi@enesad.fr">p.curmi@enesad.fr</a>

## **ANNEXES**

- 1- Légende des cartes Maucorps
- 2- Exemple de fiche de martelage utilisée pour récupérer les données de coupe
- 3- Tableau des données à analyser
- 4- Cartes obtenues
- 5- Principaux engins forestiers rencontrés dans l'échantillon de parcelles
- 6- Illustration des différentes classes de perturbation
- 7- Illustration de l'indice de visibilité du cloisonnement
- 8- Tableau synthétique des regroupements de parcelles en forêt de Retz

## Annexe 1 : légende des cartes Maucorps

Cette légende montre la complexité et l'exhaustivité des données, à la fois géologiques et pédologiques, qui ont été relevées.

<b>Origine géologique</b>		<b>Pierrosité superficielle</b>	
<b>Terrains sédimentaires</b>		<b>Nature (dans les 40 premiers cm)</b>	
		c	Craie
		k	Calcaire dur
<b>Roches carbonatées</b>		g	Alluvions graveuleuses
M	Marne	x	Silex
C	Craie et marno-calcaire	q	Grès
K	Calcaire dur	<b>Importance de la charge</b>	
D	Formation dolomitique	1	Peu caillouteuse
N	Falun yprésien	2	Modérément caillouteuse
<b>Roches silicatées</b>		3	Fortement caillouteuse
S	Sédiments meubles sableux	4	Très fortement caillouteuse
<b>Formations superficielles de rémanents quaternaires</b>		5	Affleurement
<b>Recouvrements de plateaux et de plaines</b>			
L	Formations limoneuses et limono-sableuses		
E	Matériau de remaniement éolien		
F	Matériau de remaniement complexe		
<b>Recouvrements de versants</b>			
P	Formations de piedmont		
B	Eboulis		
<b>Dépôts de vallée ou de vallons secs</b>			
A	Alluvions modernes		
T	Alluvions anciennes sur terrasse		
V	Colluvions récentes		
H	Accumulations tourbeuses		

<b>Succession texturale</b>					
<b>Classe de texture (lettre majuscule)</b>					
<b>Sabloneux</b>		<b>limoneux</b>		<b>Argileux</b>	
S	Sable	F	Limon très sableux	U	Argile sableuse
I	Sable limoneux	E	Limon sableux	A	Argile
Y	Sable argileux	L	Limon	O	Argile lourde
<b>Profondeur d'apparition</b>					
3 tranches :					
0 – 40 cm					
40- 80 cm					
80 – 120 cm					
<b>Parenthèses</b>					
Texture limitée à la couche 0 – 40					
Texture ou substrat n'apparaissant qu'en profondeur (80 – 120)					
<b>Nature du substrat éventuel limitant le volume de sol utilisable</b>					
g	Grève				
gc	Grève calcaire				
gs	Grève sableuse				
c	Calcaire et calcaire marneux				
k	Calcaire dur				
ek	Eboulis calcaire				
m	Marne				
n	Sables coquilliers, faluns				
q	Grès				
<b>Teneur en calcaire fin (CO<sub>3</sub>Ca)</b>					
c	5 % < CO <sub>3</sub> Ca < 12,5 %				
C	12,5 % < CO <sub>3</sub> Ca < 50 %				
C	CO <sub>3</sub> Ca > 50 %				
Associée à la lettre de texture ou seule selon la teneur					
<b>Teneur en matière organique</b>					
Lettre t associée ou non à la texture					
T pour les sols tourbeux					

<b>Développement de profil (stade d'évolution du sol)</b>		<b>Drainage interne naturel</b>	
a	Sol peu évolué d'apport calcaire	<b>Sols sains</b>	
a(c)	Sol peu évolué d'apport calcique	0	Rapide
r	Rendzine	1	Favorable
rc	Rendzine à très forte effervescence	<b>Sols à engorgement temporaire (pseudogley)</b>	
rm	Rendzine modale	2	Modéré
ro	Rendzine pauvre en calcaire fin	3	Imparfait
(r)	Crypto-rendzine	4	Faible
bc	Sol brun calcaire	5	Très faible
b(c)	Sol brun calcique	<b>Sols à nappe permanente</b>	
b	Sol brun	6	Assez pauvre
be	Sol brun eutrophe	7	Pauvre
ba	Sol brun acide oligotrophe	8	Très pauvre
b(l)	Sol brun faiblement lessivé		
(l)	Sol brun lessivé		
l	Sol lessivé		
la	Sol lessivé acide		
l(p)	Sol lessivé faiblement podzolique		
lp	Sol lessivé podzolique		
(p)b	Sol crypto-podzolique brun		
(p)	Sol podzolique		
p	Podzol		

## Annexe 2 : exemple de fiche de martelage utilisée pour la récupération des données

ARTICLE No: 090154 08807301PR  
 Exercice : 2009 FORET DOMANIALE de RETZ

Territoire communal de MONTGOBERT Dept. :02  
 Série 1 Parcelle 653 - 703 lot1 Lot :UNIQUE

Canton de: VAUVAUDRAN  
 Poste no : 85100814 - AGENT PATRIMONIAL

Limites N: 653 : PERIMETRE 703 : LOT 2  
 E: PERIMETRE ROUTE DROITE  
 S: LAIES CHAPEAU CORDELIERS VENTES CAGNIARDS  
 O: LAIES TETES DE CHAVIGNY BELLE EPINE

Peuplement FUTAIE REGULIERE DE HETRE Coupe DEFINITIVE  
 Marquée en DELIVRANCE - MARQUES AU CORPS A LA PEINTURE ORANGE  
 en Septembre 2007 Mai 2008

Comprenant l'exploitation de 640 arbres sur une surface de 31,46 ha.

PEFC/10-21-18/1  
 Prix de vente HT :  
 Acheteur :

DESIGNATION PAR CATEGORIE DE DIAMETRE DES TIGES FAISANT PARTIE DE LA VENTE																									
TOTAL	ESSENCE	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
4	CHENE							1			2							1							
13								1			4							8							
569	HETRE					9	7	19	23	33	72	85	83	80	71	30	34	14	3	6					
2562						5	5	22	41	78	220	317	371	404	417	211	260	117	34	62					
19	CHARME					1	3	6	2	4	3														
19							1	5	2	5	5														
48	FRENES					1	4	6	6	9	8	3	7	3	1										
117						1	4	8	11	19	22	10	24	14	5										
640	< TOTAL																								

VOLUMES PRESUMES SUR ECORCE														
ESSENCES	CHE	HET	CHA	FRE									TOTAL	Dont DECL
Tarifs	A1.5	A1.0	A1.5	A1.0										
Arbres	13	2562	19	117									2711	m3
Perch.br.	0	0	0	0										
Houppiers	4	1025	6	23									1058	m3
Taillis	0	0	0	0										
<b>TOTAUX</b>	<b>17</b>	<b>3587</b>	<b>25</b>	<b>140</b>									<b>3769</b>	<b>m3</b>
Vol.Aménag	23	3658	49	188									3918	m3

CERTIFICATION : Adhérent à PEFC, sous le N° 10-21-18/1  
 AGENT RESPONSABLE : GRAVIER Jean-Marc MF DE L'ORANGERIE  
 1 RUE LOUIS BLANC 02600 VILLERS-COTTERETS - TEL:0323727180

PROROG. TARIF : 6 MOIS  
 COMPTABLE : AGENCE COMPTABLE - ONF IDF NO  
 PLACE DE DEPOT : NON AMENAGEE  
 DELAI D'EXPLOIT. : 30/04/2010  
 TVA : 5,5 % SUR LES DEBITS

A.CLAUSES PARTIC. : INTERDICTION D'ABATRE, DE DEBUSQUER, DE DEBARDER DU 15 AVRIL AU 31 AOUT  
 OBLIGATION DE FACONNER & DE TRAITER LES HOUPPIERS PAR DEMONTAGE  
 AU FUR & A MESURE PENDANT LA PERIODE DU 1er SEPTEMBRE AU 14 AVRIL  
 SEMIS & PLANTS DE MOINS DE 10 ANS  
 PRESENCE DE CLOISONNEMENTS TOUS LES 24 METRES  
 PRESENCE DE BORNES ET FOSSES  
 RISQUE DE MITRAILLE

REPARTITION PAR PARC (PARC/NB TIGES/VOL M3) ET LISTE DES FICHES DE MARTELAGE  
 653/591/3526 703/49/242  
 08807302PR 08807501PR 08807301PR

ARBRES = tiges de 30 et + pour chêne et hêtre, 25 et + pour les autres essences, sauf stipulation contraire aux clauses communes

### Annexe 3 : Tableau de données

Explication des codes :

parc : Numéro de parcelle

cfor : Code forêt

*1 : Saint-Gobain, 2 : Retz, 3 : Saint-Michel*

pmoy : Pente moyenne de la parcelle (degrees)

note : Note obtenue par cartographie

text : Texture dominante sur la parcelle

*1 : sable, 2 : sable limoneux, 3 : limon sableux calcaire, 4 : limon sableux, 5 : limon*

rhyd : Modalité de régime hydrique sur la parcelle

relief : Indice de microtopographie

*1: très inégal, 2: inégal, 3: assez égal, 4 : zones humides, 5 : égal*

peup : Type de peuplement

*1 : TSF chêne, 2 : futaie régulière de feuillus divers, 3 : peupliers, 4 : futaie régulière de chêne, 5 : futaie régulière de hêtre, 6 : futaie irrégulière de feuillus divers, 7 : futaie régulière de châtaignier, 8 : futaie régulière d'épicéa*

tyco : Type de coupe

*1 : amelioration classe 1, 2 : amelioration classe 2, 3 : amelioration classe 3, 4 : amelioration classe 4, 5 : amelioration classe 5, 6 : relevé de couvert, 7 : rase, 8 : jardinée, 9 : ensemencement, 10 : définitive, 11 : secondaire*

cloiso : Parcelle cloisonnée ou non

*0 : parcelle non cloisonnée, 1 : parcelle cloisonnée, 2 : éclaircie résineuse*

Visib : Indice de visibilité du cloisonnement

*1 : le cloisonnement apparaît très nettement, 2 : le cloisonnement apparaît nettement, 3 : le cloisonnement n'apparaît pas nettement, 4 : impossible de trouver le réseau de cloisonnement, 5 : parcelle non cloisonnée*

prm-3 : Précipitations cumulées des trois mois précédant l'exploitation

prm-1 : Précipitations du mois précédant l'exploitation

prm : Précipitations du mois de l'exploitation (mm)

etp-p : Evapotranspiration – précipitations du mois de l'exploitation (mm)

%stock : Part de la réserve utile en eau du sol au mois de l'exploitation (%)

mois : Mois de l'exploitation

jdg : Nombre de jours de gel pendant le mois de l'exploitation

Vha : Volume total prélevé à l'hectare (m<sup>3</sup>/ha)

PB : Part des petits bois dans le volume total de la coupe (%)

BM : Part des bois moyens dans le volume total de la coupe (%)

GB : Part des gros bois dans le volume total de la coupe (%)

TH : Part du taillis et du houppier dans le volume total de la coupe (%)

porteur : Volume supposé sorti par le porteur

debusq : Volume supposé sorti par le débusqueur

1% : pourcentage de points de la classe de perturbation 1 sur l'ensemble de la parcelle

2% : pourcentage de points de la classe de perturbation 2 sur l'ensemble de la parcelle

3% : pourcentage de points de la classe de perturbation 3 sur l'ensemble de la parcelle

4% : pourcentage de points de la classe de perturbation 4 sur l'ensemble de la parcelle

5% : pourcentage de points de la classe de perturbation 5 sur l'ensemble de la parcelle

6% : pourcentage de points de la classe de perturbation 6 sur l'ensemble de la parcelle

7% : pourcentage de points de la classe de perturbation 7 sur l'ensemble de la parcelle



parc	cfor	pmoy	note	text	rhyd	relief
126	1	0,6	7	2	4	2
127	1	0,8	6	1	4	2
92	1	4,5	3	1	1	3
9	1	1,7	3	2	1	3
12	1	1,8	7	2	4	5
2088	1	5,5	7	4	2	1
1013	1	2,5	7	4	2	5
3020	1	4	5	4	1	5
3021	1	3	5	5	1	5
3046	1	2,2	2	2	1	5
3156	1	2	5	4	1	5
2001	1	1,3	2	3	1	5
3032	1	1,7	5	4	1	5
2125	1	4,2	6	4	4	1
2129	1	3,1	5	4	1	1
1138	2	1	6	5	2	5
1128	2	1,8	6	5	2	5
1159	2	2	6	5	3	5
1104	2	0,4	5	2	3	5
1102	2	0,5	5	2	3	3
1105	2	0,9	5	2	3	4
1030	2	3,6	6	5	3	5
742	2	0,7	6	4	2	3
912	2	2	5	4	1	3
722	2	3,5	5	4	2	3
1060	2	2,8	6	5	2	5
432	2	1,1	6	4	2	5
652	2	3,2	5	4	1	5
238	2	4,5	5	4	1	3
234	2	4	4	2	1	3
314	2	5,1	6	4	3	3
321	2	7	3	1	1	4
335	2	5	5	4	2	4
966	2	2,2	6	5	2	5
808	2	6,4	6	4	2	3
741	2	1,3	6	4	2	3
755	2	2,7	3	4	1	3
119	3	1,1	6	5	2	4
913	3	0,4	6	5	2	5
204	3	2,3	6	5	2	5
203	3	2,6	6	5	2	4
124	3	2,2	6	5	2	4
815	3	3,6	4	5	1	4
925	3	0,9	6	5	2	5
926	3	1,4	6	5	2	5
523	3	7	5	5	1	2
801	3	4,3	6	5	2	4
2074	1	1,3	4	6	2	5
3096	1	3,2	5	5	1	5
1429	2	3,5	1	1	1	5

parc	peup	tyco	cloiso	visib	prm-3	prm-1
126	1	4	0	5	225,9	81,2
127	1	4	0	5	129,6	32,4
92	2	6	1	2	182,3	44,2
9	3	7	0	5	126,2	52,4
12	4	4	0	5	182,3	44,2
2088	5	2	1	3	225,9	81,2
1013	6	8	1	2	155	33
3020	6	8	1	1	182,3	44,2
3021	6	8	1	1	182,3	44,2
3046	2	3	1	1	225,9	81,2
3156	2	6	0	5	225,9	81,2
2001	5	2	1	4	207,9	56,1
3032	4	10	1	1	155	33
2125	5	9	0	5	126,2	52,4
2129	5	9	1	3	166,2	40,8
1138	5	4	1	2	129,6	32,4
1128	4	5	1	4	129,6	32,4
1159	5	3	1	2	82,7	16,2
1104	5	10	0	5	112,2	55,5
1102	7	9	1	2	97,7	36,6
1105	5	10	0	5	118,2	47,4
1030	5	2	1	1	192	52,3
742	5	3	1	4	182,4	83
912	5	11	1	2	130,2	59,8
722	5	9	1	3	137,1	59
1060	5	3	1	3	117,4	64
432	5	9	1	3	129,6	32,4
652	5	10	1	1	108,3	36,6
238	5	5	1	3	108,3	36,6
234	5	11	1	3	107,2	55,5
314	5	11	1	2	134	38,2
321	5	11	1	4	97,7	59
335	5	3	1	2	92,7	16,2
966	5	5	1	3	129,6	32,4
808	5	9	0	5	108,3	59
741	5	3	1	4	182,4	83
755	5	3	1	3	102,4	64
119	4	7	0	5	267,5	67,2
913	4	10	0	5	182,4	73,8
204	4	1	1	1	256,3	89,7
203	4	1	1	1	256,3	89,7
124	8	3	2	5	287,2	149,2
815	8	3	2	5	287,2	149,2
925	8	3	2	5	287,2	149,2
926	8	3	2	5	271,3	41
523	4	3	0	5	144,7	70,3
801	4	4	0	5	185,2	71,2
2074	5	4	0	5	126,2	52,4
3096	7	8	1	2	225,9	81,2
1429	9	2	2	5	131,8	39,8

parc	prm	etp-p	%stock	mois	jdg	Vha
126	40,8	-24	94	11	3	53,9
127	52,4	-33	100	1	17	54,9
92	81,2	-44	50	10	1	90,5
9	36,2	-24,2	100	2	11	111,8
12	81,2	-44	50	10	1	25,8
2088	40,8	-24	94	11	3	46,9
1013	44,3	-33	100	1	17	38,8
3020	81,2	-44	50	10	1	44,1
3021	81,2	-44	50	10	1	33,5
3046	40,8	-24	94	11	3	10,0
3156	40,8	-24	94	11	3	80,8
2001	72,8	25,2	48	6	0	30,0
3032	44,3	-33	100	1	17	59,0
2125	48,2	-24,2	100	2	11	110,2
2129	33	-24	100	12	17	87,1
1138	47,4	-39	100	1	19	31,3
1128	47,4	-39	100	1	19	53,8
1159	55,5	42,5	18	8	0	43,4
1104	36,6	30,4	15	9	0	168,3
1102	59	-22	48	10	0	188,9
1105	41	-25	100	2	14	168,3
1030	70	35	43	6	0	65,4
742	61,3	-1,3	94	4	3	33,9
912	39,8	-25	100	2	11	122,0
722	38,2	-22	93	11	6	100,5
1060	59,6	-52	100	1	9	65,2
432	47,4	-39	100	1	19	62,2
652	59	-22	48	10	0	167,7
238	59	-22	48	10	0	65,9
234	36,6	30,4	17	9	0	60,8
314	32,4	-24	199	12	20	95,8
321	38,2	-22	94	11	6	49,8
335	55,5	42,5	18	8	0	59,8
966	47,4	-39	100	1	19	83,8
808	38,2	-22	94	11	6	73,1
741	61,3	-1,3	94	4	3	33,9
755	38	-22	93	11	6	86,8
119	110,4	-74	48	10	1	331,3
913	55	-41	100	2	10	205,0
204	67,2	-4,2	39	9	0	6,2
203	67,2	-4,2	39	9	0	8,8
124	81,1	-24,1	98	4	4	38,5
815	81,1	-24,1	98	4	4	46,8
925	81,1	-24,1	98	4	4	41,1
926	56	40	23	6	0	41,1
523	66,8	-57,8	100	1	6	31,2
801	149,2	-115	100	3	8	41,7
2074	36,2	-24,2	100	2	14	48,7
3096	40,8	-24	94	11	3	49,4
1429	83	-4,8	100	3	8	24,7

parc	PB	BM	GB	TH	porteur	debusq
126	11,8	23,9	37,3	27	20,9	33,0
127	19,9	30,4	24,1	25,6	25,0	29,9
92	0	35,9	7,3	56,9	51,5	39,0
9	1,1	6,3	23,8	68,8	78,2	33,7
12	9,3	33,4	29,1	28,2	9,7	16,1
2088	54,5	27,1	4,6	13,8	32,0	14,9
1013	2,9	7,8	78,5	10,8	5,3	33,5
3020	1,4	7,3	80,8	10,5	5,2	38,8
3021	1,4	7,3	80,8	10,5	4,0	29,5
3046	2,1	5,6	47,5	43,8	4,6	5,4
3156	0	26,1	16,4	57,5	46,5	34,3
2001	0	0	0	100	30,0	0,0
3032	6,3	15,7	39,6	38,4	26,4	32,6
2125	2,5	22,8	31,3	43,4	50,6	59,6
2129	2,8	5,4	51,1	40,8	38,0	49,1
1138	0	9,1	74,4	16,5	5,2	26,1
1128	0	7,2	72,5	20,3	10,9	42,9
1159	25	42,6	13,2	19,2	19,2	24,2
1104	0	2,9	74,1	23	38,7	129,6
1102	0	4,1	83	12,9	24,4	164,6
1105	0	2,9	74,1	23	38,7	129,6
1030	71,2	21	0,3	7,5	51,4	13,9
742	36,2	26,8	17,6	17,4	18,2	15,8
912	0	1,3	73,2	25,5	31,1	90,9
722	0	7,4	50,7	41,9	42,1	58,4
1060	11,5	29,7	44,2	14,6	17,0	48,2
432	0	13,5	59,5	27	16,8	45,4
652	0	0,5	70,8	28,8	48,3	119,4
238	3,3	25,4	44,6	27,7	20,4	45,5
234	0,1	5,7	64,5	29,3	17,9	42,9
314	1,4	12,5	60,5	25,5	25,8	70,0
321	1,5	13,1	63,3	22,1	11,7	38,0
335	46,5	24,7	6,5	22,2	41,1	18,7
966	0	3,3	73,3	23,4	19,6	64,2
808	0	17	56	27	19,7	53,4
741	36,2	26,8	17,6	17,4	18,2	15,8
755	2,8	17,8	60,2	19,1	19,0	67,8
119	6,7	4,6	38,3	50,4	189,2	142,1
913	1,3	13,7	37,5	47,5	100,0	105,0
204	100	0	0	0	6,2	0,0
203	100	0	0	0	8,8	0,0
124	66,3	24,6	0	9,1	29,0	9,5
815	80,4	10,5	0	9,1	41,9	4,9
925	81,3	9,6	0	9,1	37,1	3,9
926	81,3	9,6	0	9,1	37,1	3,9
523	11,1	12,9	14,3	61,8	22,7	8,4
801	8,1	25,9	34,9	31,1	16,4	25,4
2074	3,3	20,9	37,9	38	20,1	28,6
3096	10	23,3	39,9	26,9	18,2	31,2
1429	100	0	0	0	24,7	0,0

parc	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
126	74,45	2,79	8,08	12,78	1,91	0,00	0,00
127	82,94	3,64	5,09	7,52	0,81	0,00	0,00
92	79,94	3,40	7,37	7,50	0,77	1,03	0,00
9	58,45	3,13	10,65	8,10	11,69	5,67	2,31
12	65,48	7,70	9,78	15,11	1,85	0,07	0,00
2088	69,38	7,27	12,98	8,30	2,08	0,00	0,00
1013	73,74	6,00	9,13	6,00	2,16	2,16	0,80
3020	76,66	4,28	12,51	4,96	1,58	0,00	0,00
3021	72,79	9,12	11,26	5,09	1,74	0,00	0,00
3046	87,79	3,00	6,22	1,61	0,92	0,46	0,00
3156	39,94	2,36	26,77	18,45	8,60	3,47	0,42
2001	87,83	6,67	5,17	0,33	0,00	0,00	0,00
3032	78,93	7,66	10,73	2,11	0,57	0,00	0,00
2125	67,10	4,55	7,80	14,69	4,16	0,65	1,04
2129	79,20	2,31	5,91	9,11	2,95	0,39	0,13
1138	77,55	1,23	9,95	7,87	2,93	0,39	0,08
1128	73,76	2,97	8,62	11,14	2,29	0,69	0,53
1159	76,37	7,02	10,70	5,13	0,67	0,11	0,00
1104	55,11	1,66	17,58	24,94	0,71	0,00	0,00
1102	77,68	2,86	6,25	9,46	1,43	2,32	0,00
1105	60,37	1,17	9,32	27,51	1,63	0,00	0,00
1030	77,30	1,26	9,01	7,03	5,05	0,36	0,00
742	53,60	6,13	20,79	17,65	2,20	0,00	0,00
912	73,33	2,73	7,58	14,24	2,12	0,00	0,00
722	57,14	6,04	19,86	15,80	0,93	0,23	0,00
1060	60,57	5,55	14,76	13,22	5,31	0,59	0,00
432	72,10	3,63	7,41	9,17	5,39	1,21	0,36
652	72,51	2,25	8,04	11,90	4,34	0,96	0,00
238	63,18	9,01	18,22	7,77	1,82	0,00	0,00
234	78,23	8,51	8,78	3,20	1,19	0,09	0,00
314	70,08	2,79	11,02	5,05	6,02	1,93	3,11
321	72,84	6,21	9,90	7,04	3,04	0,69	0,28
335	73,73	6,36	10,91	6,89	1,80	0,11	0,21
966	69,26	14,32	8,54	8,85	1,03	0,00	0,00
808	53,13	17,32	6,70	14,03	8,08	0,74	0,00
741	74,44	7,37	6,42	8,20	2,62	0,95	0,00
755	67,66	8,83	9,76	10,53	3,22	0,00	0,00
119	29,82	8,48	23,03	29,70	6,18	2,79	0,00
913	68,60	0,00	3,49	22,09	4,65	1,16	0,00
204	78,43	15,28	5,17	0,22	0,90	0,00	0,00
203	76,31	18,06	4,27	1,17	0,19	0,00	0,00
124	55,47	8,76	11,68	13,50	6,57	4,01	0,00
815	66,67	9,68	10,22	10,75	2,69	0,00	0,00
925	58,44	8,56	12,66	14,76	4,22	1,36	0,00
926	62,42	11,76	9,80	12,42	3,59	0,00	0,00
523	76,84	1,23	9,47	11,40	1,05	0,00	0,00
801	77,43	6,86	9,43	5,71	0,57	0,00	0,00
2074	67,71	0,75	4,02	26,26	1,26	0,00	0,00
3096	80,41	3,49	8,22	7,21	0,68	0,00	0,00
1429	64,23	12,35	21,96	1,46	0,00	0,00	0,00

## **Annexe 4 : cartes obtenues**

Les cartes sont présentées dans l'ordre suivant :

Forêt de Saint-Gobain :

Carte établie selon les critères du guide Prosol

Carte établie selon la seconde méthode de cartographie

Forêt de Retz :

Carte établie selon les critères du guide Prosol

Carte établie selon la seconde méthode de cartographie

Forêt de Saint-Michel :

Carte établie selon les critères du guide Prosol

Carte établie selon la seconde méthode de cartographie

Rappel des critères du guide Profor :

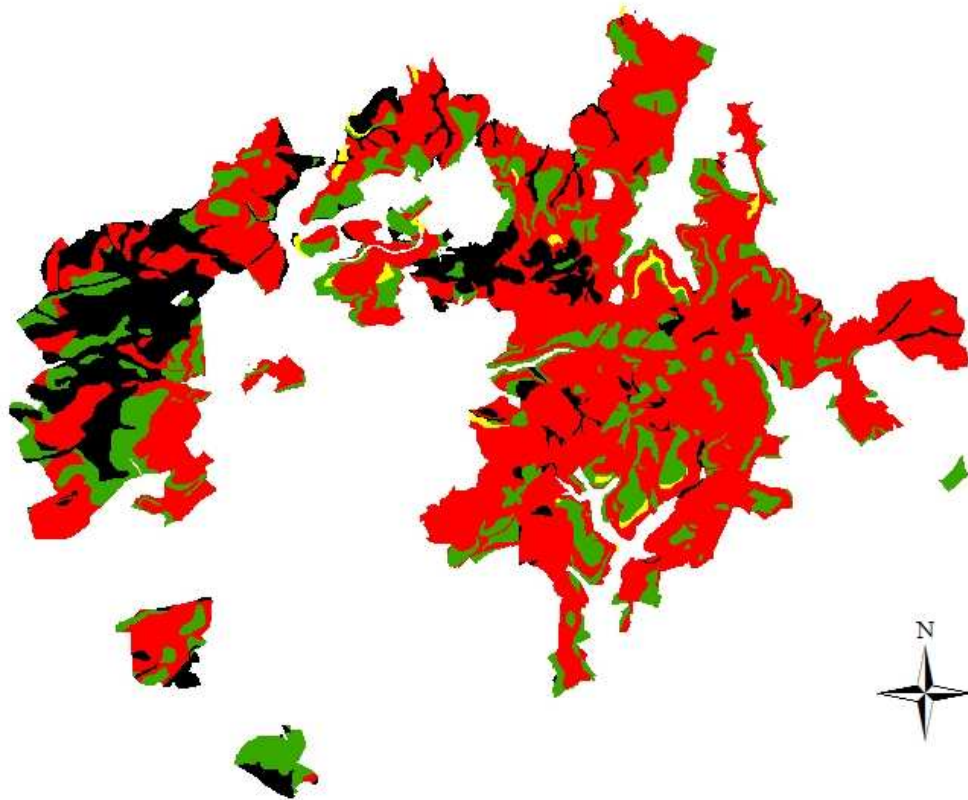
Classe 1 : sol très caillouteux ou à dominante sableuse, non hydromorphe

Classe 2 : sol à dominante argileuse, non hydromorphe

Classe 3 : sol à dominance limoneuse ou sablo-limoneuse, sol hydromorphe

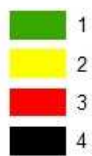
Classe 4 : sol engorgé en permanence

# Sensibilité au tassement, forêt de Saint-Gobain

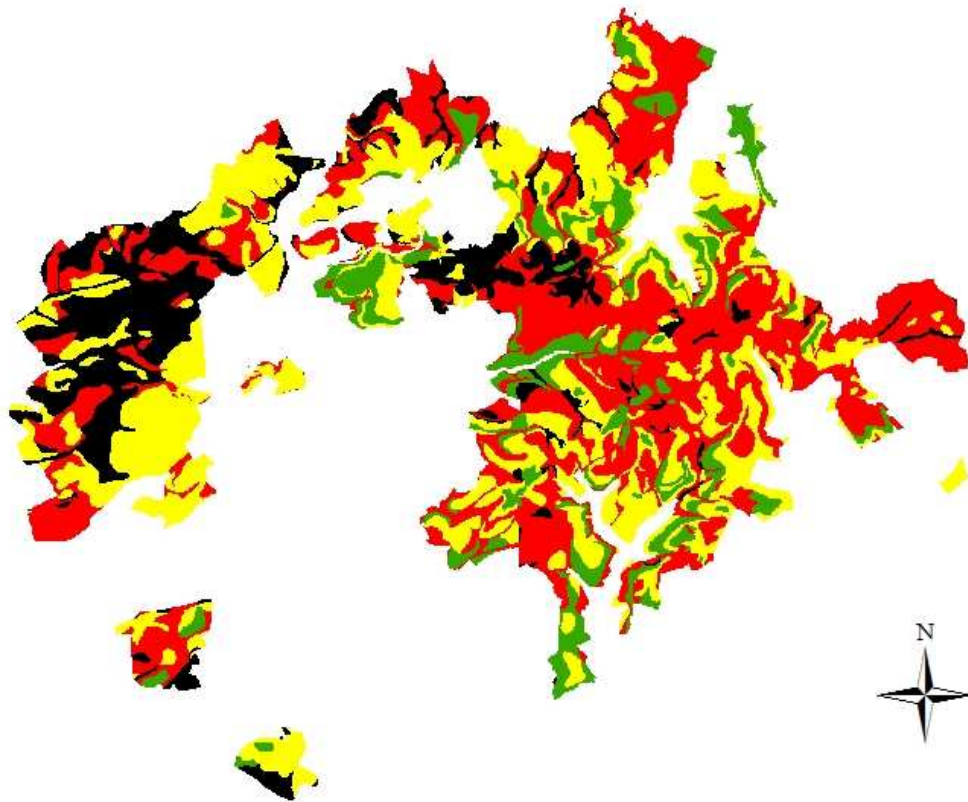


0 1 450 2 900 5 800 Meters

## Classes Prosol



# Sensibilité au tassement, forêt de Saint-Gobain



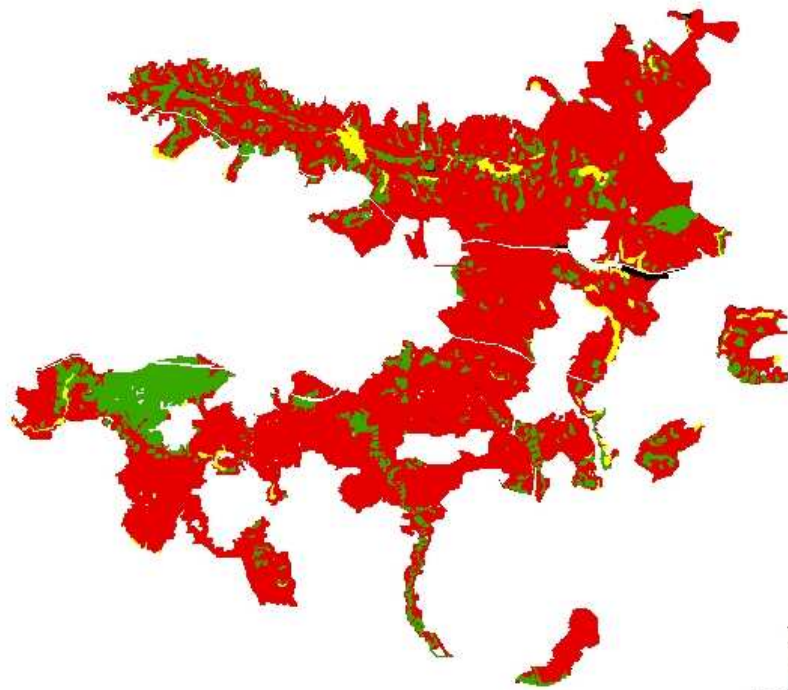
0 1 450 2 900 5 800 Meters

## Sensibilité des sols

-  Sensibilité minimale
-  Sensibilité moyenne
-  Sensibilité forte
-  Sensibilité maximale

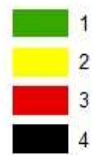


## Sensibilité au tassement, forêt de Retz

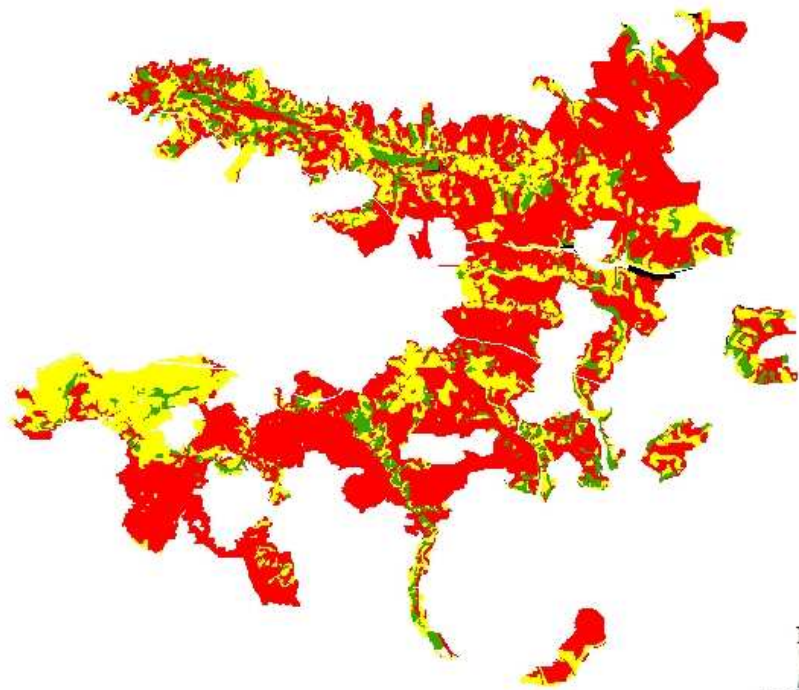


0 2 125 4 250 8 500 Meters

### Classes Prosol



## Sensibilité au tassement, forêt de Retz

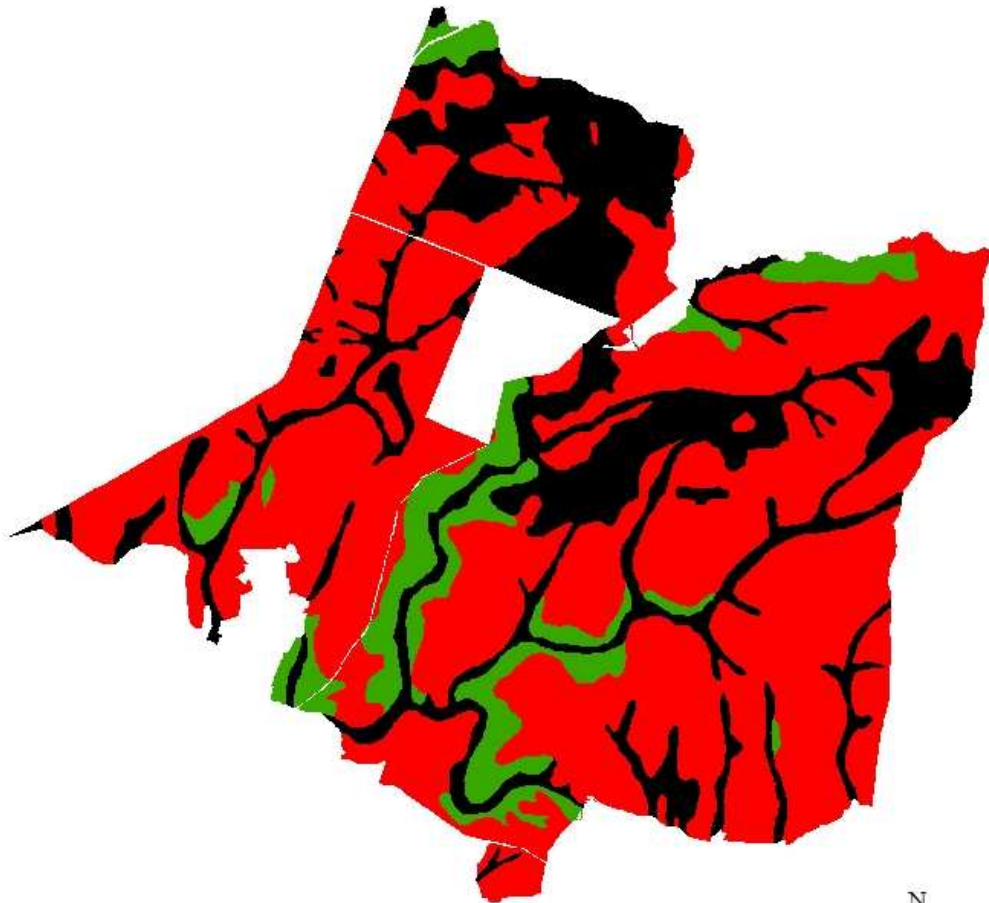


0 2 125 4 250 8 500 Meters

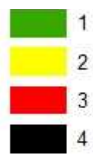
### Sensibilité au tassement

-  Sensibilité faible
-  Sensibilité moyenne
-  Sensibilité forte
-  Sensibilité maximale


## Sensibilité au tassement, forêt de Saint-Michel



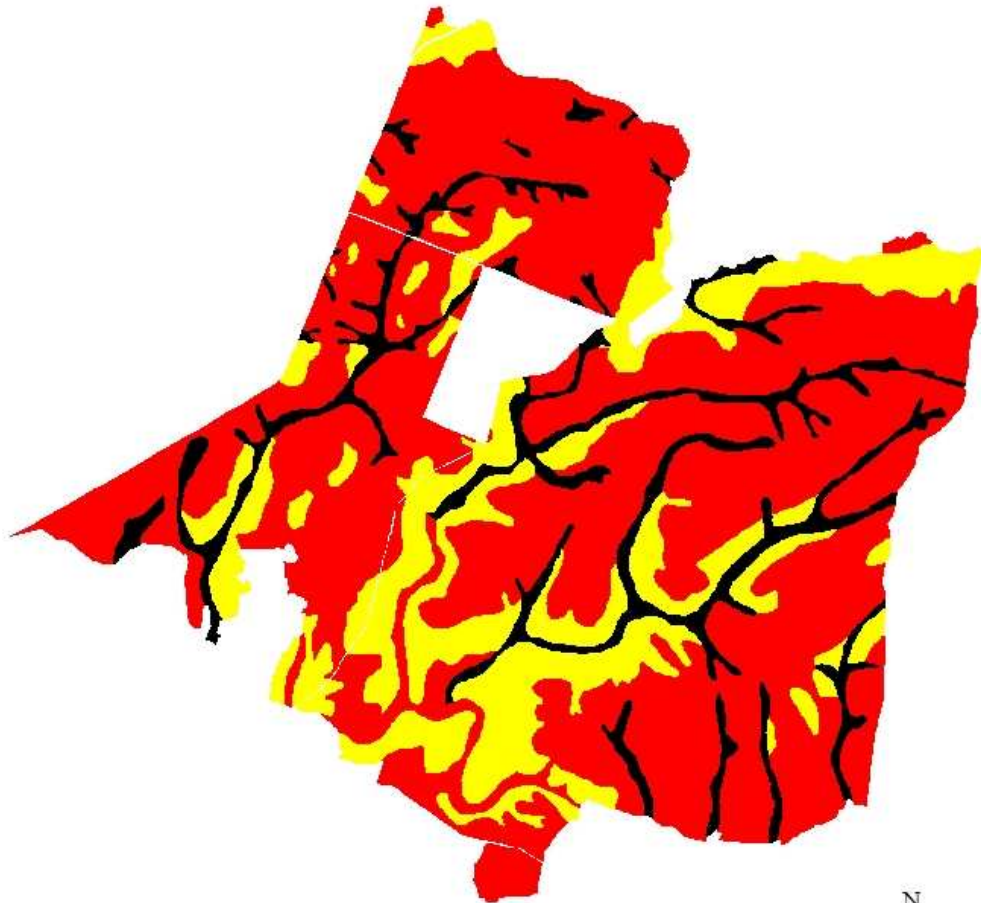
**Classes Prosol**



0 625 1 250 2 500 Meters



## Sensibilité au tassement, forêt de Saint-Michel



### Sensibilité au tassement

-  Sensibilité faible
-  Sensibilité moyenne
-  Sensibilité forte
-  Sensibilité maximale



0 625 1 250 2 500 Meters

## Annexe 5 : principaux engins rencontrés dans l'échantillon des parcelles étudiées

Sources internet :

- [www.efagagnon.com](http://www.efagagnon.com)
- [www.leboncoin.fr](http://www.leboncoin.fr)
- [www.publiquip.com](http://www.publiquip.com)



Débusqueur Timberjack 240a



Débusqueur Timberjack 225a



Franklin Grapple Q-90



Porteur Timberjack 810



Porteur Timberjack 1110D



Porteur Ponsse Elk

## Annexe 6 : illustration des différentes classes de perturbation du protocole de terrain



Perturbation légère de classe 2 ou classe 3 : difficilement discernable sur une photographie.



Perturbation de classe 4 : pas d'orniérage.



Perturbation de classe 5 : ornière de 5 à 15 cm de profondeur.



Perturbation de classe 6 : ornière de 15 à 30 cm de profondeur.



Perturbation de classe 7 : ornière de plus de 30 cm de profondeur.

Photographies : Laurent Renouf

## **Annexe 7 : illustration de l'indice de visibilité du cloisonnement**



Classe 1 de visibilité : le cloisonnement apparaît très nettement.



Classe 2 de visibilité : le cloisonnement apparaît nettement.



Classe 3 de visibilité : le cloisonnement n'apparaît plus nettement.

Classe 4 : non représentée en photographie : impossible de trouver le réseau de cloisonnements.

Photographies : Laurent Renouf

## Annexe 8 : liste complète des parcelles du portefeuille séparées en populations distinctes

Sensibilité :

- 1- Sensibilité faible
- 2- Sensibilité moyenne
- 3- Sensibilité forte
- 4- Sensibilité maximale

Risque « accueil du public » :

- 1- Fréquentation inexistante
- 2- Fréquentation occasionnelle
- 3- Fréquentation importante

Parcelle(s)	Surface (ha)	Sensibilité	Vha	Volume de TGB martelé à l'hectare (m3/ha)	Présence de cloisonnements	Niveau de risque "accueil du public"	Clause de protection de la régénération
144a	13	1	99	4	oui	3	non
144b	5	2	58	2,3	non	3	non
452	0,7	2	196	0	non	1	non
1012	17,1	2	73	2,2	oui	2	non
1051	6	2	40	11	oui	1	oui
1613	9	1	51	2,1	oui	2	oui
1516	13,8	2	52	5,8	oui	1	oui
234	7,9	2	15	1,3	oui	2	non
321	16,8	2	8,3	1	oui	3	oui
349	5,5	2	33	7,7	non	1	non
823,8	19,5	2	26	7,4	oui	1	oui
1470	12,5	2	6,1	4,1	oui	1	oui
1601	5,4	2	29	3,5	non	2	non
132	12,5	2	84	0	oui	3	non
235	19,6	2	36	0	oui	1	non
1322	9	2	135	1,4	oui	1	non
1304	19,1	2	32	0	oui	1	non
1070	14,8	1	47	0,3	non	2	non
126	12,5	2	136	34	oui	3	oui
134	4	2	174	45	oui	3	oui
139	10	2	139	46	oui	3	oui
147	6	2	106	22	oui	2	oui
148	20	2	104	16	oui	2	oui
343,3	16	2	60	18	oui	2	oui
344b	8	2	94	27	oui	1	oui
431	16,5	2	92	8,3	non	1	non
805	4,6	2	99	56	oui	1	oui
813	12	2	177	32	oui	3	oui
814	18,4	3	150	10	oui	3	non
1054	10	2	54	29	oui	1	oui
1502	14,7	2	111	40	oui	1	oui
1543,1544,1545	42,8	2	85	15	oui	1	oui
1615	10,4	2	54	11	oui	1	oui
136,1	5,5	2	71	9,2	oui	3	oui
138,1	12	2	24	7,5	oui	3	oui



231,2	6,7	2	36	10	oui	1	oui
508	7	2	37	8,6	oui	1	oui
1302	9,6	2	38	23	non	1	non
805	4,6	2	33	33	oui	2	oui
122,1	9,3	2	151	67	oui	3	oui
809	19,2	2	105	17	oui	3	oui
1120	15,6	3	103	8,2	oui	1	non
705	2,6	3	90	0	oui	1	non
729	2,5	3	19	0	non	1	non
749	20,6	3	78	0,8	oui	2	non
932	14,7	3	92	0,9	oui	1	non
943	9	3	76	0	oui	1	non
1372	9,1	3	66	2,7	oui	2	non
965	5	3	16	3,4	oui	2	oui
1357	10,7	3	60	3	oui	1	non
130	5,4	3	16	5,7	oui	3	non
703	7,5	3	8,8	3,8	oui	1	oui
704	17,5	3	11	0,3	oui	1	non
912	3,3	3	15	0	oui	1	oui
913	6	3	11	2,2	oui	1	oui
1326	13,4	3	12	2,1	oui	2	oui
767	21,5	3	50	0,5	oui	1	oui
1010	28,8	3	61	0	oui	2	non
1032	24,5	3	75	0	oui	1	non
1509	10,1	3	45	0	non	1	non
140	6	3	52	17	oui	3	oui
448a	6	3	46	21	oui	1	oui
448b	6	3	63	28	oui	1	oui
823	6,5	3	156	64	oui	1	oui
824	13	3	148	70	oui	1	oui
836	1	3	197	20	oui	1	oui
1333	14,3	3	103	17	oui	2	oui
438	5,8	3	33	23	oui	1	oui
653,7	31,5	3	120	37	oui	1	oui
1336	18,8	3	101	32	oui	2	oui
1040,1042,1043	28,7	3H	65	0,7	oui	1	non
314	9,4	3,4	23	0,7	oui	3	non
316	9,3	3H	15	0,4	oui	3	non
436	12,5	2,3H	19	3,6	oui	3	oui
724	9,5	2,3,H	13	1,9	oui	1	non
104	10,4	3H	39	3,5	oui	3	oui
1108	15	2H,3H	82	0	oui	1	non
131	12,5	2,3H	84	0	oui	3	non
345	16	3H	60	18	oui	1	oui
1466	12,3	3H	107	25	oui	1	oui
1532	8,4	3H	81	28	oui	1	oui