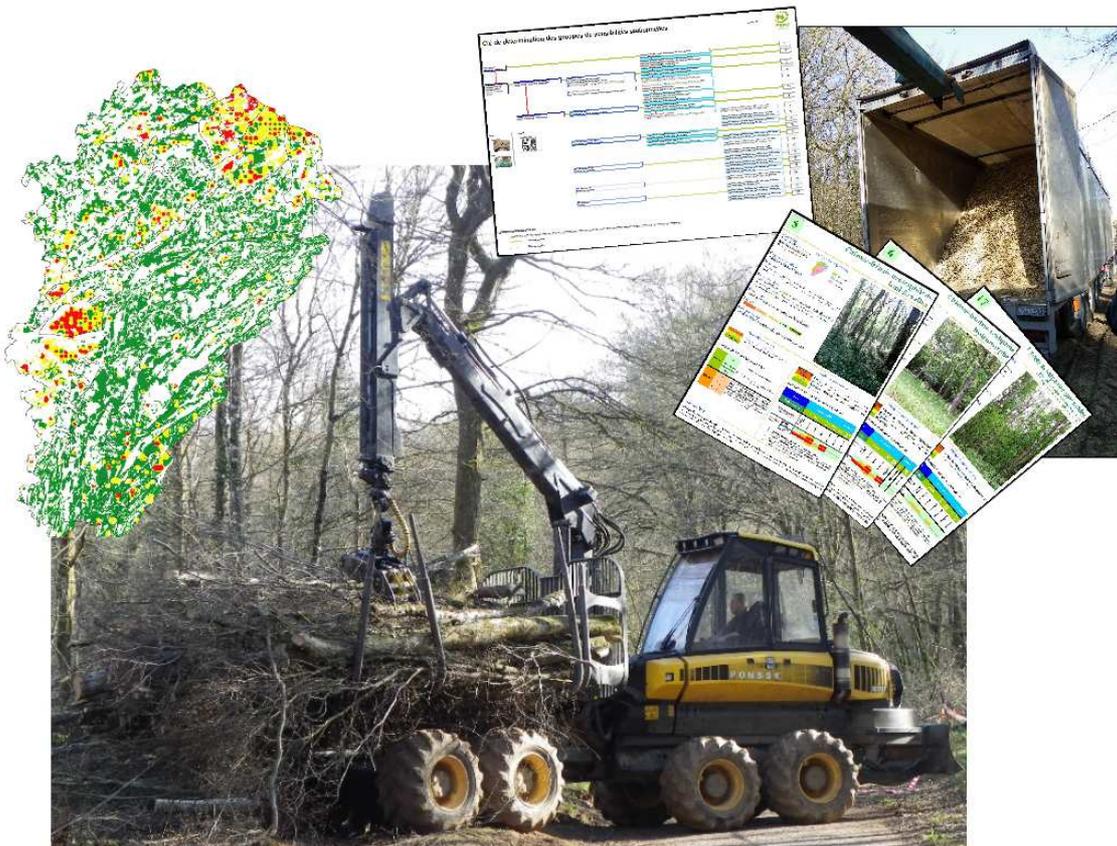


# Récolte des menus bois en région Franche-Comté dans le cadre du bois-énergie

Étude des sensibilités minérale et physique des stations et vulgarisation auprès des gestionnaires et  
propriétaires



Mémoire de fin d'études

Crédits et montage photographiques

Emmanuel ROUYER

Les autres crédits photographiques sont indiqués sur chaque photographie.

# **Récolte des menus bois en région Franche-Comté dans le cadre du bois-énergie**

Étude des sensibilités minérale et physique des stations et vulgarisation auprès des gestionnaires et  
propriétaires

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   | <b>TRAVAUX D'ÉLÈVES</b>  |
| <b>TITRE :</b> Récolte des menus bois en région Franche-Comté dans le cadre bois-énergie<br><br>Etude des sensibilités minérale et physique des stations et vulgarisation auprès des gestionnaires et propriétaires | <b>Mots clés :</b><br>Exportation minérale ; Sensibilité physique des sols ; Étude stationnelle ; Bois-énergie ; Vulgarisation |
| <b>AUTEUR(S) :</b><br><br>Emmanuel ROUYER   | <b>Promotion :</b><br><br>19 <sup>e</sup> promotion  |
| Caractéristiques : - 1 volume ; 100 pages ; 27 figures ; - 5 annexes ; - 6 cartes ; bibliographie.  |  |

### CADRE DU TRAVAIL

|  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
| <b>ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT :</b><br>Association PEFC Franche-Comté<br><br>Nom du responsable : Stéphane LEFÈVRE<br>Fonction : Chargé de mission PEFC |  |                                |
| Nom du correspondant ENGREF (pour un stage long) : Yves EHRHART  |  |                                |
| Tronc commun <input type="checkbox"/><br>Option <input type="checkbox"/><br>D. d'approfondissement <input type="checkbox"/>                                  | Stage en entreprise <input type="checkbox"/><br>Stage à l'étranger <input type="checkbox"/><br>Stage fin d'études <input checked="" type="checkbox"/><br><br>Date de remise : 01/07/2011 | Autre <input type="checkbox"/> |
| Contrat avec Gref Services 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

Récolte des menus bois en région Franche-Comté dans le cadre du bois-énergie – Étude des sensibilités minérale et physique des stations et vulgarisation auprès des gestionnaires et propriétaires.

## **RÉSUMÉ**

À travers le développement de la filière bois-énergie, les sylviculteurs ont vu l'opportunité de valoriser une ressource jusqu'à présent sous-utilisée : les menus bois.

Cette récolte supplémentaire n'est cependant pas sans conséquences sur les écosystèmes forestiers. Des voix s'élèvent pour encadrer cette pratique, arguant de la fragilité des sols : appauvrissements, déstructurations... L'association PEFC de Franche-Comté s'est ainsi proposée pour réaliser un diagnostic des sensibilités de chaque station forestière quant au tassement et à l'exportation minérale.

L'analyse a ainsi permis de définir les sites propices à une telle exploitation et les contraintes à y préconiser grâce à la production de cartes, d'une part, et à la réalisation d'un guide de recommandations d'exploitation, basé sur une typologie de stations, d'autre part.

Déclinaisons régionales des protocoles du guide PROSOL et du guide sur la récolte raisonnée des rémanents, l'outil proposé aux propriétaires ou gestionnaires doit leur permettre d'en appliquer les conclusions adaptées aux spécificités franc-comtoises.

Topwood harvesting for fuelwood production in Franche-Comté – Mineral and soil settling properties of forest sites and forestry popularization for foresters and landowners.

## **ABSTRACT**

Through the rise in fuelwood production, foresters have soon understood that they could develop topwood harvesting as it has been under-used up to now.

However, this additional harvest can cause damages to forest ecosystems. Some people want to control this exploitation because of soils weakness: soil impoverishment, soilsettling... Thus, in Franche-Comté, the forest certification association PEFC has proposed to establish mineral exportation and soilsettling sensibilities for each forest site.

The study has pointed out the stand types where this harvest could occur, using two kinds of tools: soil maps and a practical guide about harvest practices, based on forest sites classification.

This how-to guide is a regional adaptation of PROSOL and topwood harvesting protocols. It is proposed to foresters and forest owners in order to enable them to apply harvest advices adapted to regional characteristics.

## **REMERCIEMENTS**

Je remercie M. Michel VERDOT, qui en tant que président, a accepté de m'accueillir au sein de l'association PEFC Franche-Comté.

De même, M. Stéphane LEFÈVRE bénéficie de toute ma reconnaissance pour m'avoir encadré et conseillé tout au long de l'avancée de l'étude.

Je témoigne également ma gratitude à l'ensemble des partenaires extérieurs contactés qui sont intervenus et m'ont orienté pour le bon déroulement des analyses. Mes remerciements sont dirigés tout particulièrement aux membres du comité de pilotage de l'étude, MM. ABT, LÉCHINE, CHANTERANNE et ZIPPER.

N'oublions pas non plus le personnel de l'ADIB (association régionale pour le développement de la forêt et des industries du bois en Franche-Comté), de PROFORÊT (association des entrepreneurs de travaux forestiers) et du CRPF pour leur accueil au sein des bureaux bisontins de la maison de la forêt et du bois.

Enfin, j'adresse un grand merci à M. Yves EHRHART, de l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts de Nancy, pour avoir suivi le déroulement de mon stage en tant que tuteur pédagogique.

# TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>TABLE DES FIGURES.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>TABLE DES CARTES .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>INDEX DES SIGLES .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>INTRODUCTION .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>RECOLTE DES MENUS BOIS SUR LA REGION FRANCHE-COMTE DANS LE<br/>CADRE BOIS-ENERGIE .....</b> | <b>8</b>  |
| <b>1. Contexte de l'étude.....</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1. Retour au bois-énergie... ..  | 8         |
| 1.1.1. Volonté politique affichée.....   | 8         |
| 1.1.2. Une filière bois-énergie mais de multiples produits commercialisés .....                | 9         |
| 1.1.3. Évaluation de la ressource disponible .....   | 10        |
| 1.1.4. Situation franc-comtoise .....  | 12        |
| 1.2. Problèmes liés à l'intensification de l'exploitation forestière .....                     | 12        |
| 1.2.1. Tassement des sols .....  | 12        |
| 1.2.2. Appauvrissement des sols .....  | 14        |
| 1.2.3. Autres conséquences liées à la récolte des rémanents .....                              | 15        |
| 1.3. Des outils pour prendre en compte l'intensification de l'exploitation<br>forestière ..... | 16        |
| <b>2. Matériel et méthode .....</b>  | <b>18</b> |
| 2.1. Évaluation de la sensibilité des stations .....   | 18        |
| 2.1.1. Sensibilité physique aux tassements .....   | 18        |
| 2.1.2. Sensibilité chimique à l'exportation minérale .....                                     | 19        |
| 2.2. Les données utilisées et leurs traitements .....  | 20        |
| 2.2.1. Les données IFN .....   | 20        |
| 2.2.2. Le traitement cartographique des données IFN .....                                      | 21        |
| 2.2.2.1. <i>Le choix de la méthode</i> .....   | 21        |
| 2.2.2.2. <i>Le principe de calcul</i> .....  | 21        |
| 2.2.2.3. <i>Les limites de l'interpolation</i> .....   | 22        |
| 2.2.2.4. <i>Sensibilité aux tassements</i> .....   | 22        |
| 2.2.2.5. <i>Sensibilité à l'exportation minérale</i> .....                                     | 23        |
| 2.2.3. Les données stationnelles.....  | 24        |
| 2.3. Possibilité d'un regroupement .....   | 26        |
| 2.3.1. Stations « transversales » .....  | 26        |
| 2.3.2. Analyses multivariées .....   | 26        |
| 2.4. Validation sur le terrain.....  | 27        |
| <b>3. Résultats et discussions.....</b>  | <b>28</b> |
| 3.1. La phase cartographique .....   | 28        |
| 3.1.1. Sensibilité physique aux tassements .....   | 28        |
| 3.1.1.1. <i>Les commentaires des professionnels sur la carte</i> .....                         | 29        |
| 3.1.1.2. <i>Discussions</i> .....  | 30        |
| 3.1.1.3. <i>Bilan</i> .....  | 31        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.1.2.    | Sensibilité chimique à l'exportation minérale .....   | 32        |
| 3.1.2.1.  | <i>Les commentaires des professionnels sur la carte</i> .....   | 32        |
| 3.1.2.2.  | <i>Discussion</i> .....   | 34        |
| 3.1.2.3.  | <i>Bilan</i> .....  | 34        |
| 3.1.3.    | Croisement de la sensibilité chimique à l'exportation minérale et de la sensibilité physique aux tassements .....                               | 35        |
| 3.2.      | L'approche stationnelle.....  | 37        |
| 3.2.1.    | Les résultats des analyses multivariées.....  | 37        |
| 3.2.2.    | Le classement « à dire d'expert ».....  | 37        |
| 3.2.2.1.  | <i>Les regroupements de station</i> .....   | 38        |
| 3.2.2.2.  | <i>Discussion</i> .....   | 45        |
| <b>4.</b> | <b>Propositions de gestion et vulgarisation</b> .....   | <b>47</b> |
| 4.1.      | De la récolte raisonnée des rémanents... ..   | 47        |
| 4.2.      | ...à l'adaptation des systèmes d'exploitation... ..   | 49        |
| 4.2.1.    | Le choix du type de matériel.....   | 49        |
| 4.2.1.1.  | <i>Diversité du machinisme forestier</i> .....  | 49        |
| 4.2.1.2.  | <i>Élaboration d'une grille de recommandations</i> .....  | 54        |
| 4.2.2.    | Le réseau de cloisonnement et l'organisation du chantier .....  | 56        |
| 4.3.      | ... en vue d'un guide de recommandations d'exploitation .....   | 58        |
| 4.3.1.    | Élaboration d'une clé de détermination .....  | 58        |
| 4.3.2.    | Rédaction de fiches synthétiques des groupes stationnels .....  | 60        |
|           | <b>CONCLUSION</b> .....   | <b>62</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....  | <b>64</b> |
|           | <b>LISTE DES CONTACTS</b> .....   | <b>69</b> |
|           | <b>LEXIQUE</b> .....  | <b>70</b> |
|           | <b>TABLE DES ANNEXES</b> .....  | <b>71</b> |
|           | <b>Annexe 1 : Tables de reclassement pour le traitement cartographique des données géoréférencées de l'inventaire forestier national.</b> ..... | <b>72</b> |
|           | <b>Annexe 2 : Table de recodage des données qualitatives en données quantitatives pour les analyses multivariées.</b> .....                     | <b>74</b> |
|           | <b>Annexe 3 : Tableau récapitulatif des sensibilités minérales et physiques des stations forestières franc-comtoises.</b> .....                 | <b>75</b> |
|           | <b>Annexe 4 : Cartes des sensibilités des sols forestiers aux tassements et à l'exportation minérale.</b> .....                                 |           |
|           | <b>Annexe 5 : Clé de détermination du guide de recommandations d'exploitation des menus bois.</b> .....   |           |

## TABLE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Répartition de l'origine énergétique en France métropolitaine (en Mtep). .....   | 8  |
| Figure 2 : Approvisionnement en combustible des chaufferies.....  | 9  |
| Figure 3 : Schéma et vocabulaire des différents compartiments de l'arbre (Colin <i>et al.</i> , 2009).....  | 9  |
| Figure 4 : Principes d'obtention des données relatives à l'évaluation de la ressources en biomasse forestière (Colin <i>et al.</i> , 2009).....   | 10 |
| Figure 5 : Disponibilités en bois valorisables pour des fins énergétiques selon Colin <i>et al.</i> (2009). .....   | 11 |
| Figure 6 : Classification de la sensibilité des sols en fonction de leur composition chimique (Bonneau et Ranger, 1999 cités par Cacot <i>et al.</i> , 2003).....   | 15 |
| Figure 7 : Clé de détermination de la sensibilité des sols aux tassements (Staub, 2009). .....  | 19 |
| Figure 8 : Diagramme de détermination de la sensibilité des sols aux exportations minérales (modification personnelle à partir de Cacot <i>et al.</i> (2006) pour répondre aux résultats des nouvelles expérimentations établies par Cacot <i>et al.</i> (2007))..... | 20 |
| Figure 9 : Traitement des données IFN pour la carte de sensibilités des sols forestiers aux tassements. ....  | 23 |
| Figure 10 : Traitement des données IFN pour l'obtention de la carte de sensibilités des sols forestiers à l'exportation minérale. ....  | 24 |
| Figure 11 : Graphique comparatif de la sensibilité aux tassements de chaque région d'application des catalogues de stations forestières. ....   | 31 |
| Figure 12 : Graphique comparatif de la sensibilité aux exportations minérales de chaque région d'application des catalogues de stations forestières. ....   | 35 |
| Figure 13 : ACP illustrant le regroupement des exemples-types en 18 groupes. ....   | 37 |
| Figure 14 : Pince pour sectionner les petits bois, valorisables en bois-énergie.....  | 50 |
| Figure 15 : Débusqueur à grue travaillant sur sol gelé. ....  | 50 |
| Figure 16 : Porteur débardant des menus bois.....   | 51 |
| Figure 17 : Cheval de fer (Salon du bois-énergie à Besançon – 25 mars 2011).....  | 51 |
| Figure 18 : Débardage par traction animale. ....  | 51 |
| Figure 19 : Débusquage des bois par un cheval de fer et débardage au porteur pour un peuplement dont le réseau de cloisonnement est très lâche (Moberg <i>et al.</i> , 1988, cité par Pischedda <i>et al.</i> , 2009). ....   | 52 |
| Figure 20 : Traîneau-treuil.....  | 52 |
| Figure 21 : Débardage par câble-mât, machine en bas. Chantier de démonstration à Apremont (01). ....  | 53 |
| Figure 22 : Câble-mât de petite dimension, monté sur remorque.....  | 53 |
| Figure 23 : Schéma descriptif du fonctionnement d'un câble zigzag. ....   | 54 |
| Figure 24 : Schéma d'un chantier d'exploitation au câble zigzag. ....   | 54 |
| Figure 25 : Exemple type d'un réseau de cloisonnements (Lavaupot, 2005, cité dans Pischedda <i>et al.</i> , 2009). .....  | 57 |
| Figure 26 : Clé de détermination des groupes stationnels (GS). ....   | 60 |
| Figure 27 : Présentation des fiches descriptives de groupes stationnels (GS).....   | 60 |

## TABLE DES CARTES

|   |    |
|---|----|
| Carte 1 : Carte de sensibilité des sols de France aux exportations minérales (Brêthes <i>et al.</i> cités par Nicolas <i>et al.</i> , 2007).....                | 16 |
| Carte 2 : Carte de la sensibilité minérale réalisées à partir des données ponctuelles de l'IFN (Colin <i>et al.</i> , 2009. ....                                | 16 |
| Carte 3 : Carte des régions forestières franc-comtoises (Abt, communication personnelle).....   | 25 |
| Carte 4 : Carte de la sensibilité des sols forestiers franc-comtois aux tassements (déclinaison régionale de la classification PROSOL).....                     | 28 |
| Carte 5 : Carte de la sensibilité des sols forestiers franc-comtois à l'exportation minérale (déclinaison régionale du guide ADEME). ....                       | 32 |
| Carte 6 : Carte de la sensibilité des sols forestiers franc-comtois à l'intensification de l'exploitation dans un objectif de valorisation des menus bois. .... | 36 |

## TABLE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Effets du prélèvement des rémanents selon divers auteurs (cités par Cacot <i>et al.</i> , 2003 ; Cacot <i>et al.</i> , 2007).....                             | 14 |
| Tableau 2 : Récapitulatif des données ponctuelles IFN disponibles pour l'étude.....   | 21 |
| Tableau 3 : Récapitulatif des catalogues de stations forestières franc-comtoises. ....  | 26 |
| Tableau 4 : Classement des régions d'application des catalogues de stations forestières en fonction de leurs sensibilités aux tassements.....                             | 31 |
| Tableau 5 : Classement des régions d'application des catalogues de stations forestières en fonction de leurs sensibilités aux exportations minérales.....                 | 35 |
| Tableau 6 : Tableau de synthèse des sensibilités physiques et chimiques des sols forestiers francs-comtois (729 612 ha au total). ....                                    | 35 |
| Tableau 7 : Tableau de synthèse des groupes stationnels (GS). ....  | 38 |
| Tableau 8 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la dépression périvosgienne et de la vallée de la Lanterne (deuxième partie du tableau).....             | 39 |
| Tableau 9 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la vallée de l'Ognon. ....   | 39 |
| Tableau 10 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la plaine de Saône. ....  | 40 |
| Tableau 11 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la Bresse centrale et méridionale. ....   | 40 |
| Tableau 12 : Tableau de synthèse des regroupements de stations du massif de Chaux. ....   | 41 |
| Tableau 13 : Tableau de synthèse des regroupements de stations du Sundgau. ....   | 41 |
| Tableau 14 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des Vosges saônoises.....  | 42 |
| Tableau 15 : Tableau de synthèse des regroupements de stations du plateau des Mille Étangs.....   | 42 |
| Tableau 16 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des plateaux calcaires de la zone 1.....   | 43 |
| Tableau 17 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des plateaux calcaires de la zone 2. ....  | 43 |
| Tableau 18 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des pentes intermédiaires et deuxième plateau du Jura. ....  | 44 |
| Tableau 19 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la Petite Montagne. ....  | 44 |
| Tableau 20 : Recommandations pour la récolte des rémanents (Cacot <i>et al.</i> , 2005 ; Cacot <i>et al.</i> , 2006).....   | 48 |
| Tableau 21 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols peu sensibles aux tassements. ....  | 55 |
| Tableau 22 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols moyennement sensibles aux tassements. ....  | 55 |
| Tableau 23 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols sensibles aux tassements. ....  | 55 |
| Tableau 24 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols très sensibles aux tassements. ....   | 55 |
| Tableau 25 : Préconisations de constitution du réseau de cloisonnement lors de leur mise en place en futaie sur terrain plat ou dont la pente est inférieure à 40 %. .... | 56 |

# INDEX DES SIGLES

**ADEME** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie  
**ACP** : Analyse en composante principale (méthode d'analyse statistique)  
**AFD** : Analyse factorielle discriminante (méthode d'analyse statistique)  
**AL** : Argile limoneuse (*cf. au triangle des textures*)  
**Alo** : Argile lourde (*cf. au triangle des textures*)  
**ALS** : Argile limono-sableuse (*cf. au triangle des textures*)  
**AS** : Argile sableuse (*cf. au triangle des textures*)  
**BCIA** : Biomasse, chaleur, industrie et agriculture  
**BCIAT** : Biomasse, chaleur, industrie, agriculture et tertiaire  
**CAH** : Classification ascendante hiérarchique (méthode d'analyse statistique)  
**CETEF** : Centre d'études techniques et économiques forestières  
**COMOP En R** : Comité opérationnel énergie renouvelable  
**CRE** : Commission de régulation de l'énergie  
**CRPF** : Centre régional de la propriété forestière  
**DT** : Direction territoriale (organisation au sein de l'ONF)  
**ETF** : Entrepreneur de travaux forestiers  
**FBE** : Forêt et bois de l'Est (coopérative forestière)  
**FCBA** : Forêt, Cellulose, Bois, Ameublement (institut de recherche)  
**GRECO** : Grande région écologique  
**GS** : Groupe de stations (en référence aux regroupements des stations du guide d'exploitation)  
**IDW** : Inverse distance weighting  
**IFN** : Inventaire forestier national  
**IPC** : Indice de prélèvement câble  
**LA** : Limon argileux (*cf. au triangle des textures*)  
**LAS** : Limon argilo-sableux (*cf. au triangle des textures*)  
**LERFOB** : Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois  
**LI** : Limon léger (*cf. au triangle des textures*)  
**LIS** : Limon léger sableux (*cf. au triangle des textures*)  
**Lm** : Limon moyen (*cf. au triangle des textures*)  
**LmS** : Limon moyen sableux (*cf. au triangle des textures*)  
**LS** : Limon sableux (*cf. au triangle des textures*)  
**LSA** : Limon sablo-argileux (*cf. au triangle des textures*)  
**ONF** : Office national des forêts  
**PEFC** : *Program for the Endorsement of Forest Certification schemes* (Programme de reconnaissance des certifications forestières)  
**PID** : Pondération inverse à la distance  
**PSG** : Plan simple de gestion (document d'aménagement des propriétaires forestiers privés)  
**S** : Sable (*cf. au triangle des textures*)  
**SA** : Sable argileux (*cf. au triangle des textures*)  
**SER** : Sylvoécocorégion  
**SFFC** : Société forestière de Franche-Comté  
**SL** : Sable limoneux (*cf. au triangle des textures*)  
**tep** : tonne équivalent pétrole  
**UCFF** : Union de la coopération forestière française

## INTRODUCTION

À l'horizon 2020, les énergies renouvelables devront pourvoir au minimum 20 % de la production énergétique française. Tel est l'objectif que s'est fixé la France dans le cadre de sa politique de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre. Parmi les énergies renouvelables, l'utilisation du bois tient déjà la tête du classement et il a été prévu de la renforcer en pointant l'intérêt de la valorisation des menus bois.

Cette récolte supplémentaire de la ressource ligneuse couplée à une demande toujours constante voire croissante des industriels pour le bois d'œuvre et le bois d'industrie font peser des risques grandissants sur les écosystèmes forestiers. Sont ainsi fréquemment mentionnés par les gestionnaires forestiers deux problèmes majeurs qui font en conséquence l'objet de recherches poussées.

Premièrement, la mécanisation des chantiers d'exploitation provoque sur les sols sensibles des tassements et orniérages, d'autant plus nuisibles que le poids des engins d'exploitation ne cesse de croître.

Deuxièmement, à l'image des sols agricoles, l'appauvrissement en éléments minéraux des sols forestiers tend à devenir problématique. Bien que le problème soit soulevé depuis maintenant plus de 10 ans (Ponge, 1999 et Bonneau et Ranger, 1999), sa prise en compte s'est développée timidement et il aura fallu attendre le renouveau du bois-énergie pour le voir remis au goût du jour.

Comme le mentionne Mourey (2008), non seulement ces dégradations ont des répercussions néfastes sur l'environnement mais également sur les aspects économiques (perte de production) et sociaux (mauvaise acceptabilité des dommages visuels). En outre, toute dégradation actuelle engendre des conséquences à long terme dont les effets se font ressentir sur des dizaines d'années.

L'ensemble de ces raisons a conduit les ministres participant à la conférence d'Helsinki, en 1993, à intégrer la préservation des sols forestiers au sein des six critères retenus pour définir la politique de protection des forêts en Europe.

Confortée par la conférence de Lisbonne, en 1998, et transposée aux niveaux nationaux puis régionaux, cette question récurrente visant à concilier l'exploitation des bois avec la préservation des milieux est toujours à l'ordre du jour et s'actualise, par ailleurs, avec les nouveaux enjeux.

Elle se décline aujourd'hui autour de l'exploitation des menus bois à des fins énergétiques.

C'est dans ce contexte que l'association PEFC de Franche-Comté a décidé de se doter d'un guide de vulgarisation à destination des propriétaires et des gestionnaires forestiers. Ce document a pour objectif de définir des recommandations pour encadrer non seulement la récolte des menus bois, mais également toute opération d'exploitation. Dans l'attente du cahier des charges national PEFC pour la gestion des menus bois et des souches, il permet notamment de satisfaire aux exigences des articles 3.g. et 5.b. du cahier des charges PEFC des propriétaires forestiers ainsi qu'aux articles 3.f., 5.a., 5.b. et 5.e. du cahier des charges des exploitants forestiers.

Financièrement soutenu par le conseil régional de Franche-Comté et par l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), le futur guide de recommandations d'exploitation des menus bois devra s'adapter au contexte régional de la filière forestière.

Pour cela, à l'image de ce qui peut se faire en Suède (Lundmark, 1988 cité par Cacot *et al.*, 2003), ces conseils devront s'ajuster en fonction des types de stations rencontrées en Franche-Comté. L'objectif du travail consistera donc en une déclinaison des différents travaux de portée nationale, concrétisant ainsi la volonté d'outils plus régionalisés mentionnée notamment par Cacot *et al.* (2007).

# RECOLTE DES MENUS BOIS SUR LA REGION FRANCHE-COMTE DANS LE CADRE BOIS-ENERGIE

## 1. Contexte de l'étude

### 1.1. Retour au bois-énergie...

#### 1.1.1. Volonté politique affichée

Dans le contexte actuel de crise énergétique, climatique et écologique, des solutions sont recherchées pour :

- diminuer notre dépendance énergétique vis-à-vis des énergies fossiles, vouées à disparaître,
- diminuer nos rejets de CO<sub>2</sub>.

Depuis sa mise en œuvre en 2007 à l'initiative gouvernementale, de nombreuses perspectives ont été soutenues par le Grenelle de l'environnement pour « *Produire plus tout en préservant mieux* ».

Des engagements ont notamment été pris quant à l'utilisation de la biomasse et des énergies renouvelables. Un renforcement de cette filière est souhaité à l'horizon 2020 passant naturellement par l'amélioration des approvisionnements de la filière bois-énergie qui constitue d'ores et déjà le principal producteur d'énergie renouvelable en France métropolitaine.

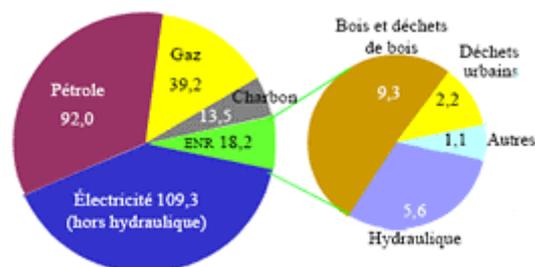
Pour exemple, le comité opérationnel des énergies renouvelables a fixé pour objectif à l'horizon 2020 la valorisation énergétique supplémentaire de 9 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) annuels de biomasse.

Restait ensuite à traduire ces orientations par des démarches concrètes. Tel a été l'objectif des Assises de la forêt devant aboutir à l'élaboration d'un plan et d'un calendrier d'actions pratiques et pragmatiques.

C'est ainsi qu'en 2007, les Assises de la forêt établissaient l'objectif d'une mobilisation de bois supplémentaire de 21 millions de m<sup>3</sup> en 2020 dont 12 millions à vocation de production de plaquettes forestières. Ceci engendrerait une hausse de la consommation française de biomasse forestière passant de 9,3 Mtep en 2006 à environ 13 Mtep en 2020 (Colin *et al.*, 2020).

L'argumentaire développé pour encourager la valorisation du bois en termes énergétiques est basé sur plusieurs points :

- ❖ cette ressource énergétique renouvelable est considérée comme neutre vis-à-vis du bilan carbone de la forêt (Cacot *et al.*, 2004), seule la production et le transport des plaquettes entraînent un rejet de l'ordre de 7 kg de dioxyde de carbone par MWh tout en permettant une économie de rejet de l'ordre de 300 kg/MWh (Gomes *et al.*, 2010b),
- ❖ elle engendre une économie d'énergie conséquente puisque la production de plaquettes forestières consomme de l'ordre de 70 kWh par tonne de plaquette tout en permettant une économie d'énergie de l'ordre de 2500 kWh/t (Gomes *et al.*, 2010b),
- ❖ le prix du bois-énergie constitue également un argument encourageant son développement puisque son prix n'est que très peu soumis aux fluctuations des cours du carburant (F&BE, 2011),
- ❖ la production est, en règle générale, locale (Cacot *et al.*, 2004).



Source : Observatoire de l'énergie

**Figure 1 : Répartition de l'origine énergétique en France métropolitaine (en Mtep).**

À ce jour, l'utilisation du bois-énergie est également plébiscitée du fait des appels d'offres de la Commission de régulation de l'énergie (CRE). Ainsi, l'électricité produite à partir de biomasse bénéficie de tarifs de rachat préférentiels. Plusieurs campagnes d'offre à projets ont été lancées. Se sont ainsi succédés, les appels à projet de première génération CRE1 en 2004, puis CRE2 en 2007 et CRE3 en 2009.

En parallèle, d'autres programmes d'actions se mettent en place, tels les appels à projets Biomasse, Chaleur, Industrie et Agriculture (BCIA) initiés par l'ADEME en 2009.

Profitant du succès des premiers programmes, se développent à l'heure actuelle les appels à projets CRE4 et BCIAT 2011 ainsi que des projets de chaufferies urbains et ruraux (Klotz, 2011).

### 1.1.2. Une filière bois-énergie mais de multiples produits commercialisés

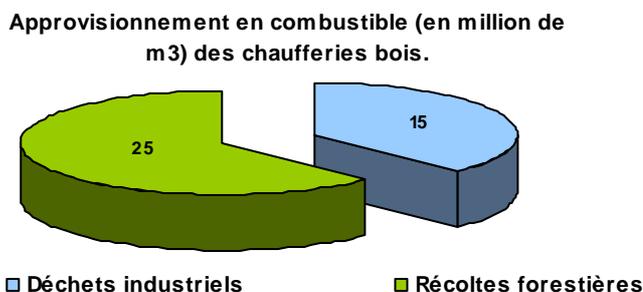
Cette ressource de bois-énergie peut alors être valorisée selon plusieurs méthodes, soit de la production de chaleur « simple », soit la transformation d'une partie de cette chaleur en électricité (ce que l'on appelle la cogénération) ou encore par l'intermédiaire de la production de biocarburants (Graffin, 2007).

Ainsi, l'utilisation de bois en tant qu'énergie peut se faire sous plusieurs formes possibles, des bûches aux granulés en passant par les plaquettes forestières et les déchets industriels.

Le développement actuel voulu pour la filière bois se concentre surtout sur les projets de chaudières collectives ou industrielles.

**Figure 2 : Approvisionnement en combustible des chaufferies.**

Ces chaufferies bois actuelles bénéficient de deux sources principales d'approvisionnement. Selon une enquête de l'ADEME en 2002, environ un tiers du bois proviendrait des déchets industriels de première et seconde transformations, les deux tiers restants provenant directement de récoltes en forêt.

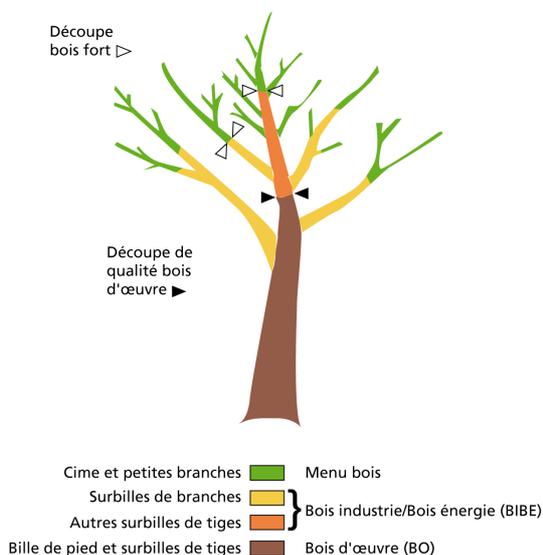


La majorité du bois d'origine industrielle étant déjà bien valorisée, il semble difficile de satisfaire nos besoins supplémentaires en bois de la sorte. En conséquence, pour approvisionner les nouveaux projets, de plus en plus de bois devra être directement exploité en forêt.

De ce fait, les acteurs du bois-énergie se tournent vers des réservoirs de matières jusqu'alors laissés en forêt et notamment les branches les plus fines laissées sur le parterre des coupes d'exploitation.

La présente étude s'intéresse donc à la mobilisation de ce menu bois pour la production de plaquettes forestières.

Il convient ici de bien définir les termes que nous utiliserons dans la suite de ce rapport. En effet, par abus de langage, les acteurs de la filière parlent souvent de valorisation des rémanents. Or il convient de laisser l'utilisation du terme "rémanents" aux bois qui restent réellement en forêt sur la coupe. Quant aux branches de faibles dimensions mais quand même exploitées dans un objectif de production quelconque, elles seront regroupées sous le terme de "menus bois". La figure 3 illustre l'utilisation adéquate du vocabulaire à utiliser.



**Figure 3 : Schéma et vocabulaire des différents compartiments de l'arbre (Colin *et al.*, 2009).**

### 1.1.3. Évaluation de la ressource disponible

Pour être fondée, l'orientation des politiques énergétiques doit s'appuyer sur des études de potentialités. Il ne suffit pas de vouloir promouvoir le bois-énergie en France, mais il faut en évaluer la ressource pour adapter les projets en conséquence.

C'est pourquoi de nombreuses études d'évaluation de la ressource ont été menées par différents organismes (ADEME, IFN, Cemagref...) et à différentes échelles du territoire (projets nationaux, régionaux ou encore même locaux en ciblant l'approvisionnement d'une chaufferie en particulier...). Chacune d'entre elles s'est basée sur des données d'entrée et des protocoles différents (Colin *et al.*, 2009 ; Ginistry *et al.*, 2009) ... entraînant des résultats quelque peu divergents.

Il était ainsi possible de lire des estimations aussi diverses et variées que le montrent quelques conclusions présentées ci-après. Selon des premières études, la France disposerait d'un potentiel de mobilisation supplémentaire d'environ 22 Mm<sup>3</sup> de bois pour la récolte bois-énergie, alors que pour d'autres seuls 3,1 Mm<sup>3</sup> supplémentaires pouvaient être mobilisés...

Ces différences résultent surtout du fait que les différentes estimations ne correspondent bien évidemment pas aux mêmes produits. Ainsi les 22 Mm<sup>3</sup> de bois comprennent tous les bois français jusqu'à un diamètre de 14 cm pour les résineux et 20 cm pour les feuillus (Béluard *et al.*, 2007), alors que les 3,1 Mm<sup>3</sup> se limitent à une exploitation des menus bois uniquement (en considérant de plus que seuls 50 % des bois peuvent être prélevés en raison de la sensibilité des sols et pour un prix d'entrée chaufferie de 17 €/MW).

En outre, ces disponibilités peuvent varier si l'on considère le court et le moyen terme, c'est pourquoi des études complémentaires se sont avérées nécessaires pour clarifier la situation et disposer de données fiables sur lesquels les pouvoirs publics peuvent se baser pour prendre les décisions adaptées...

Se sont donc succédées et complétées quatre études majeures de 2005 à 2009 (Colin *et al.*, 2009) dont la dernière a été lancée à l'initiative de l'ADEME. Son objectif a permis l'évaluation nationale de la biomasse ligneuse supplémentaire disponible à des fins énergétiques à l'horizon 2020. Confié à l'IFN en étroite collaboration avec le FCBA et le bureau d'études SOLAGRO, ce rapport a précisé les réelles potentialités régionales en les ventilant en fonction de leur origine, facilité d'exploitation, etc.

L'un des principaux points forts de cette étude est d'avoir pris en considération des contraintes de mobilisation nuanciant ainsi les disponibilités. Ont ainsi été pris en compte des critères techniques de capacité d'exploitation, environnementaux de gestion durable préservant notamment la richesse minérale des sols et économiques en considérant la rentabilité de l'exploitation. La démarche est présentée par le schéma et les commentaires de la figure 4.

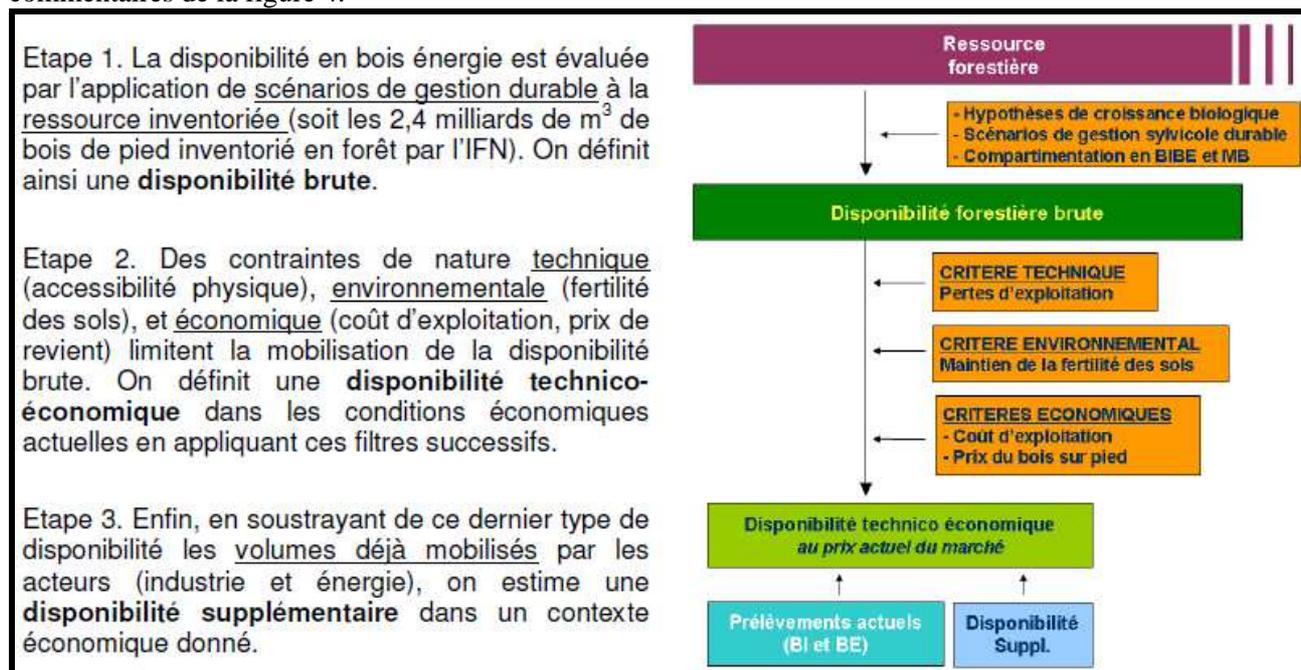


Figure 4 : Principes d'obtention des données relatives à l'évaluation de la ressources en biomasse forestière (Colin *et al.*, 2009).

Les conclusions mettent en évidence que la disponibilité brute de menus bois sur la période 2006-2020 est de l'ordre de 3 Mtep/an (13,5 Mm<sup>3</sup>/an). Cette ressource est à 72 % feuillue (9,7 Mm<sup>3</sup>/an contre 3,8 Mm<sup>3</sup>/an de menus bois résineux) du fait de la faible branchaison des résineux, pin d'Alep excepté (Ginistry *et al.*, 2009 ; Colin *et al.*, 2009). En enlevant la partie non exploitable à l'heure actuelle pour des raisons techniques, il a été estimé que la disponibilité supplémentaire en menus bois se limite à 11,7 Mm<sup>3</sup>/an (Ginistry *et al.*, 2009 ; Colin *et al.*, 2009).

Les études ont ensuite intégré la sensibilité des sols aux exportations minérales pour affiner les estimations. Ainsi, à partir des données IFN, il a été mis en évidence qu'au niveau national 59 % de cette ressource se situe sur des sols peu sensibles, 24 % sur des sols moyennement sensibles et 17 % sur des sols fortement sensibles (Colin *et al.*, 2009 ; Ginistry *et al.*, 2009).

En revanche, la partie réellement mobilisable a été envisagée de manière différente dans les deux études. Colin *et al.* (2009) ont considéré au taux de prélèvement de 50 % sur l'ensemble de la disponibilité technique soit une mobilisation possible de 5,8 Mm<sup>3</sup>/an (1,3 Mtep/an). Quant à Ginistry *et al.* (2009), ils n'ont considéré aucun prélèvement sur sols sensibles et des prélèvements de 50 % sur sols moyennement sensibles et de 100 % sur sol peu sensibles. En fin de compte, leur estimation de mobilisation de menus bois s'élève à 8,1 Mm<sup>3</sup>/an (1,8 Mtep/an), tout en ajoutant que les difficultés de récoltes et pertes d'exploitation ne permettraient certainement de mobiliser que la moitié de ce potentiel soit 4 Mm<sup>3</sup>/an (0,9 Mtep/an).

Au final, en combinant ces deux études, on obtient une fourchette de potentialité raisonnablement comprise entre 4 et 6 Mm<sup>3</sup>/an de menus bois à l'échelle nationale d'autant plus que des actualisations fréquentes des hypothèses font varier les valeurs de disponibilités calculées (Ginistry *et al.*, 2009).

Le tableau ci-après résume les principaux résultats de l'étude de Colin *et al.* (2009) ventilés par région, types et origine des produits.

| Régions administratives | BOIS INDUSTRIE / BOIS ENERGIE (BIBE)        |            |             |               |  |            |             |              | MENUS BOIS (MB)                        |            |             |              |
|-------------------------|---|------------|-------------|---------------|--|------------|-------------|--------------|--|------------|-------------|--------------|
|                         | Disponibilité technico économique (ktep/an) |            |             |               | Disponibilité supplémentaire (ktep/an) |            |             |              | Disponibilité supplémentaire (ktep/an) |            |             |              |
|                         | Forêt                                       | Haie       | Peuple-raie | Total         | Forêt                                  | Haie       | Peuple-raie | Total        | Forêt                                  | Haie       | Peuple-raie | Total        |
| Alsace                  | 267   | ns         | ns          | 271           | 66                                     | ns         | ns          | 63           | 32                                     | ns         | ns          | 34           |
| Aquitaine               | 1 068                                       | 31         | 7           | 1 106         | 90                                     | 15         | 2           | 107          | 118                                    | 17         | 3           | 138          |
| Auvergne                | 483   | 22         | ns          | 507           | 187                                    | 1          | ns          | 188          | 51                                     | 12         | ns          | 64           |
| Basse-Normandie         | 149   | 61         | ns          | 211           | -27                                    | -2         | ns          | -29          | 16                                     | 33         | ns          | 50           |
| Bourgogne               | 844   | 22         | ns          | 871           | 493                                    | 9          | ns          | 504          | 127                                    | 13         | ns          | 142          |
| Bretagne                | 329   | 67         | ns          | 400           | 108                                    | 11         | ns          | 120          | 42                                     | 37         | ns          | 80           |
| Centre                  | 887   | 27         | ns          | 919           | 498                                    | 12         | ns          | 512          | 117                                    | 15         | ns          | 133          |
| Champagne-Ardenne       | 625   | ns         | 5           | 637           | 200                                    | ns         | 1           | 203          | 100                                    | ns         | 2           | 106          |
| Corse                   | 55  | ns         | ns          | 56            | -68                                    | ns         | ns          | -68          | 7                                      | ns         | ns          | 7            |
| Franche-Comté           | 591   | ns         | ns          | 601           | 245                                    | ns         | ns          | 242          | 96                                     | ns         | ns          | 101          |
| Haute-Normandie         | 243   | ns         | ns          | 250           | 28                                     | ns         | ns          | 27           | 31                                     | ns         | ns          | 34           |
| Ile-de-France           | 279   | ns         | ns          | 282           | 30                                     | ns         | ns          | 30           | 38                                     | ns         | ns          | 40           |
| Languedoc-Roussillon    | 243   | ns         | ns          | 253           | 32                                     | ns         | ns          | 36           | 33                                     | ns         | ns          | 38           |
| Limousin                | 550   | 26         | ns          | 578           | 217                                    | 12         | ns          | 229          | 69                                     | 14         | ns          | 83           |
| Lorraine                | 727   | ns         | ns          | 737           | 232                                    | ns         | ns          | 232          | 98                                     | ns         | ns          | 104          |
| Midi-Pyrénées           | 599   | 38         | ns          | 641           | 178                                    | 16         | ns          | 196          | 88                                     | 21         | ns          | 110          |
| Nord - Pas-de-Calais    | 111   | ns         | ns          | 128           | -64                                    | ns         | ns          | -74          | 16                                     | ns         | ns          | 23           |
| Pays de la Loire        | 308   | 77         | 11          | 397           | 94                                     | 20         | 6           | 120          | 36                                     | 42         | 4           | 82           |
| Picardie                | 336   | ns         | 9           | 353           | 40                                     | ns         | -2          | 39           | 49                                     | ns         | 3           | 57           |
| Poitou-Charentes        | 340   | 45         | ns          | 390           | 80                                     | 12         | ns          | 93           | 49                                     | 24         | ns          | 75           |
| PACA                    | 200   | ns         | ns          | 208           | -82                                    | ns         | ns          | -82          | 28                                     | ns         | ns          | 32           |
| Rhône-Alpes             | 491   | 19         | ns          | 513           | 23                                     | 4          | ns          | 27           | 79                                     | 10         | ns          | 90           |
| <b>TOTAL France</b>     | <b>9 726</b>                                | <b>510</b> | <b>74</b>   | <b>10 310</b> | <b>2 598</b>                           | <b>104</b> | <b>15</b>   | <b>2 717</b> | <b>1 318</b>                           | <b>279</b> | <b>28</b>   | <b>1 625</b> |

ns : résultats statistiquement non significatifs

Figure 5 : Disponibilités en bois valorisables pour des fins énergétiques selon Colin *et al.* (2009).

Il est à noter que d'autres initiatives d'évaluation de ressources se sont concrétisées, développant en conséquence des protocoles d'analyses parfois plus restrictifs et aboutissant certes à des résultats différents mais souvent plus cohérents.

Tel est le cas notamment de l'analyse menée par Forêts et Bois de l'Est sur la région Lorraine qui a consisté à isoler en amont de l'étude les bois insuffisamment exploités jusqu'à présent pour n'inclure que leur proportion dans les estimations (Bélouard *et al.*, 2007).

#### 1.1.4. Situation franc-comtoise

En tant que région parmi les plus boisées de France, la Franche-Comté jouit d'un potentiel de production de bois à vocation énergétique des plus élevés en métropole et déjà en partie exploité. Signalons, pour exemple la chaufferie de Planoise à Besançon initiée dès 2005 ; d'une puissance de 6 MW, elle consomme près de 15 000 tonnes de plaquettes annuellement.

La disponibilité brute estimée par l'étude de l'ADEME (Colin *et al.*, 2009) y a été évaluée pour le menu bois à 762 000 m<sup>3</sup>/an soit l'équivalent de 168 ktep/an, pour deux tiers d'origine feuillue, et résineuse pour le tiers restant, répartis de manière à peu près équivalente entre forêts privées et publiques.

Néanmoins, si l'on considère seulement la part des menus bois qu'il est possible de mobiliser d'un point de vue technico-économique, la ressource supplémentaire s'élève à 437 000 m<sup>3</sup>/an soit 96 ktep/an, pour deux tiers feuillue et également répartie entre forêt privée et publique.

Quant aux prévisions de consommations futures, à l'horizon 2014, il est estimé que 250 000 tonnes de bois supplémentaires devraient être mobilisés soit environ cinq fois plus que la consommation actuelle (Klotz, 2011). Ces évaluations de consommation tiennent compte des projets CRE 2, CRE 3, BCIA 2009 et BCIAT 2010 (FBE, 2011).

## 1.2. Problèmes liés à l'intensification de l'exploitation forestière

### 1.2.1. Tassement des sols

L'intensification de l'exploitation forestière couplée à une mécanisation des chantiers fait encourir aux sols forestiers des risques de dégradation croissants. La mécanisation des exploitations se traduit notamment par le recours à des engins d'abattage et de débardage certes de plus en plus rentables mais surtout de plus en plus lourds. Pour exemple, entre 1991 et 2001, l'AFOCEL a noté une évolution du poids des porteurs passant de 10 à 11,5 tonnes en moyenne.

Les dégradations causées aux sols sont le résultat de la combinaison de deux facteurs :

- la contrainte exercée au sol qui dépend notamment du poids de l'engin et de sa surface de contact avec le sol,
- la résistance du sol qui dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol et principalement de facteurs tels que la texture et la porosité.

Bien évidemment, la contrainte et la résistance interagissent l'un sur l'autre. Une contrainte forte va ainsi entraîner des modifications des caractéristiques physiques du sol (diminution de la porosité) jusqu'à trouver un nouvel équilibre pour lequel la résistance du sol pourra supporter cette contrainte.

En termes de résistance du sol, il a été démontré (Wronsky, 1984, cité par Lamandé *et al.*, 2005) que les sols de granulométrie grossière résistent mieux à la compressibilité et donc aux tassements, c'est pourquoi, une texture sableuse ou la présence d'éléments grossiers sont des facteurs pédologiques favorables vis-à-vis de la circulation des engins d'exploitation.

Quant à la porosité, non seulement elle correspond aux vides susceptibles d'être comblés par le tassement mais elle détermine aussi la capacité d'un sol à retenir l'eau. Or, par effet lubrifiant, la résistance d'un sol diminue lorsque sa teneur en eau augmente. Soulignons que la teneur en eau est sûrement le paramètre le plus déterminant vis-à-vis de la résistance des sols puisque c'est sur sol humide que les dégâts aux sols les plus importants ont été relevés. Mc Nabb (2001, cité par Lamandé *et al.*, 2005) a mis en évidence qu'un seul passage sur sol saturé engendre un tassement supérieur à celui observé après 10 passages sur le même sol sec.

Les déformations observées peuvent être classées en trois catégories principales (Rotaru, 1983, cité par Lamandé *et al.*, 2005) :

- le scalpage, lié aux forces de frottement de l'engin, correspond à un déplacement de deux couches ou de deux horizons, souvent associé à un mélange de matériaux,
- la compactage, lié au poids des engins, correspond à une réduction du volume du sol sans changement de masse (diminution de la porosité),
- l'orniérage est la conséquence de trois processus mécanique simultanée : le creusement linéaire dû à la compression des matériaux, la formation de bourrelets liés au fluage des matériaux sur le côté et le cisaillement.

Toutes ces déformations ont des conséquences sur le fonctionnement de l'écosystème. L'INRA a mis en exergue que c'est la macroporosité et principalement la continuité du réseau de pores qui est affecté lors des tassements. Ceci engendre une structuration lamellaire des horizons des sols tassés et modifie les flux gazeux et hydriques des sols pouvant entraîner une hypoxie des sols. L'écoulement de l'eau s'en trouve perturbé et les sols tassés ressuient plus lentement puisque les capillaires à écoulement rapide ont été obstrués.

La stagnation de l'eau et la diminution de l'aération dans ces sols tassés sont à l'origine de la difficulté accrue pour la respiration racinaire et du ralentissement de l'activité biologique des macro- et micro-invertébrés.

Au final, les conséquences sur la végétation sont notoires et concernent des substitutions de flore (envahissement par le jonc et la molinie), des difficultés de régénération des peuplements forestiers, des pertes de production voire des phénomènes de mortalité concernant certaines essences (hêtre, châtaignier, douglas ou encore merisier).

En outre, l'évolution de ces dégradations sur le long terme est encore assez peu connue (Von Wilpert et Schäffer, 2005, cité par Rouyer, 2007). En tout état de cause, il est reconnu que la restauration naturelle des sols tassés est longue. Elle est conditionnée par les phénomènes de retrait et de gonflement des argiles, de gel et de dégel du sol, la croissance racinaire et les populations de macro-invertébrés des sols, particulièrement les lombrics. Il semblerait également que cette restauration soit d'autant meilleure que les colloïdes sont nombreux, les conditions trophiques plus riches et l'activité biologique plus importante. Néanmoins, sur certains sols sensibles exploités dans de mauvaises conditions, les conséquences du tassement sont encore visibles 30 ans après l'exploitation.

Suite à la prise de conscience des conséquences néfastes de ces tassements des sols forestiers, se sont développés des outils pour aider les gestionnaires ou propriétaires directement confrontés aux problèmes. Parmi les initiatives notables, signalons le développement du logiciel ProFor<sup>®</sup> par l'université de Munich. Son objectif est d'indiquer les seuils de teneur en eau limites au-delà desquels les cloisonnements deviendront impraticables pour une texture donnée et en fonction du types d'engins utilisés (Matthies *et al.*, 2006). Cet outil nécessite cependant de connaître non seulement le type de matériel utilisé par les exploitants mais également la date de réalisation du chantier pour effectuer la mesure de teneur en eau juste avant sa réalisation. Or, là est la limite de l'outil, la plupart du temps, l'exploitant forestier ne connaît pas longtemps à l'avance quand il va intervenir sur une parcelle donnée et parfois même prévient le propriétaire ou le gestionnaire la veille de son arrivée ce qui laisse alors très peu de temps pour se retourner et faire les mesures d'humidité nécessaire.

D'autres travaux se sont basés sur des approches cartographiques. C'est ainsi des cartes de sensibilité ont été réalisées à des échelles d'application différentes : régionale comme en Lorraine (Staub, 2009) ou plus locales comme pour les forêts de Saint Gobain, Retz et de Saint-Michel en Picardie (Renouf, 2009) ou encore le massif forestier de la Reine en Meurthe-et-Moselle (Rouyer, 2007).

Au-delà de ces cartes de sensibilité qui n'intègrent pas la dynamique de l'eau, quelques cartes de praticabilité ont vu le jour comme pour le massif forestier de la Reine en Meurthe-et-Moselle dont l'objectif est d'intégrer le temps de ressuyage des sols (Rouyer, 2007). Bien qu'intéressantes d'un point de vue opérationnel, ces approches nécessitent cependant d'être encore développées et requièrent notamment des connaissances scientifiques plus poussées concernant la dynamique hydrique des sols.

### 1.2.2. Appauvrissement des sols

L'exploitation du branchage voire du feuillage des arbres n'est pas neutre pour les sols forestiers et les peuplements restant en place. En effet, les feuilles, aiguilles, écorces et fines branches concentrent les éléments minéraux (azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium) plus que toutes autres parties de l'arbre (Cacot *et al.*, 2007)). Leur exploitation engendre une exportation minérale jusqu'à trois fois plus forte qu'une exploitation classique se concentrant sur l'exploitation des grumes comme l'illustre le tableau 1 (Binns, 1975, cité par Cacot *et al.*, 2003). En outre, les jeunes arbres présentent également une minéralomasse plus élevée que les arbres plus âgés, de même qu'elle est plus importante pour les feuillus que pour les résineux (Cacot *et al.*, 2003). En conséquence l'exploitation des menus bois pour de jeunes arbres exportera proportionnellement à leur dimension plus d'éléments minéraux que des arbres plus âgés (Cacot *et al.*, 2007).

**Tableau 1 : Effets du prélèvement des rémanents selon divers auteurs (cités par Cacot *et al.*, 2003 ; Cacot *et al.*, 2007).**

|   | <i>Augmentation relative de prélèvement par rapport à une exploitation bois fort</i> |          |          |          |           |           |
|---|--|----------|----------|----------|-----------|-----------|
|   | <b>Biomasse</b>  | <b>N</b> | <b>P</b> | <b>K</b> | <b>Ca</b> | <b>Mg</b> |
| <b>Freedman <i>et al.</i>, 1986</b>                               | 50 %   | 170 %    | 200 %    | 160 %    | 100 %     | 120 %     |
| <b>Tew <i>et al.</i>, 1986</b>                                    | 65 %   | 216 %    | 304 %    | 152 %    | 254 %     | 145 %     |
| <b>Cacot <i>et al.</i>, 2007</b><br>Douglas - Morvan              | 12 %   | 84 %     | 61 %     | 53 %     | 70 %      | 64 %      |
| <b>Cacot <i>et al.</i>, 2007</b><br>Douglas - Beaujolais          | 54 %   | 283 %    | 218 %    | 139 %    | 276 %     | 195 %     |
| <b>Cacot <i>et al.</i>, 2007</b><br>Chêne, Hêtre – Forêt de Chaux | 39 %   | 98 %     | 158 %    | 96 %     | 81 %      | 133 %     |

À l'instar des systèmes agricoles, des récoltes forestières trop fréquentes de l'ensemble du matériel végétal peuvent entraîner un appauvrissement chimique provoquant une acidification des sols par perte des cations alcalins ( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ). Alors, en l'absence de compensation extérieure, la capacité de production des sols s'amenuisera engendrant une croissance moindre des peuplements. C'est notamment au moment de la première éclaircie, période à laquelle les besoins minéraux des arbres sont les plus forts, que les effets de perte de production se font ressentir (Cacot *et al.*, 2003).

Les éléments les plus susceptibles d'être en situation de déficit lié à l'intensification de la récolte des menus bois sont par ordre d'importance le calcium, l'azote et le phosphore (Cacot *et al.*, 2003). En ce qui concerne les micronutriments également essentiels à la nutrition des arbres, tel le bore, ils ont été très peu étudiés dans les écosystèmes forestiers (Cacot *et al.*, 2004). En ce qui concerne le cycle du carbone, plusieurs études tendent à montrer que l'exploitation des menus bois ne modifie pas ou très peu le solde de carbone du sol. En revanche, l'extraction des menus bois pour une vocation énergétique permet de diminuer la quantité de  $CO_2$  rejeté liée à l'utilisation de carburants d'origine fossile (Cacot *et al.*, 2003).

La richesse chimique des sols forestiers est très variable et certains s'appauvriront plus rapidement que d'autres. L'origine de la minéralomasse des sols forestiers est double et il est nécessaire de distinguer les éléments totaux des éléments assimilables, dont les formes chimiques peuvent être intégrées dans les processus biologiques. D'une part, l'altération de la roche-mère permet de faire entrer de nouveaux stocks dans les cycles biogéochimiques, mais constitue sous nos milieux tempérés un processus très lent de la pédogénèse. D'autre part, les dépôts atmosphériques constituent le deuxième flux permettant d'apporter des éléments minéraux dans un sol. Quant à la minéralisation de l'humus, elle contribue à réintégrer des minéraux dans le sol. Ces restitutions par les litières s'avèrent très importantes pour l'équilibre du système car il permet la reconstitution du pool d'éléments minéraux assimilables par les végétaux (Cacot *et al.*, 2003).

Ainsi, certes, il faut porter une attention toute particulière aux sols déjà naturellement pauvres, néanmoins, certaines études ont également mis en évidence que pour un sol pauvre en un élément donné, le recyclage de cet élément dans la litière sera beaucoup plus rapide (Cacot *et al.*, 2003). Ainsi, un sol relativement pauvre pourra quand même présenter des niveaux de fertilité acceptables. Plus que les stocks, ce sont les flux minéraux qui importent. En effet, plusieurs études ont mis en évidence que les stocks

d'éléments minéraux des sols ne correspondent qu'à quelques années ou dizaines d'années de prélèvements par les peuplements forestiers. C'est donc la circulation rapide des éléments minéraux dans l'écosystème qui permet aux peuplements de se développer en minimisant les situations de manque d'éléments nutritifs. La bonne décomposition de la litière ainsi que des racines et bois morts constitue donc un moteur à la production des peuplements et à l'équilibre des écosystèmes forestiers (Nicolas *et al.*, 2007).

Dans l'optique d'aider les gestionnaires, des études telles que celle de Bonneau et Ranger (1999) ont été menées dans l'objectif d'établir des classes de sensibilité (voir la figure 6). Trois classes de sols ont ainsi été définies en fonction de leur teneur en éléments minéraux.

Cette méthode, certes efficace, reste cependant difficile à mettre en application puisqu'elle nécessite une analyse physico-chimique poussée et qui plus est coûteuse des paramètres du sol.

| Composition du sol                  | Variable   | Catégorie de sol |                 |              |
|-------------------------------------|--|------------------|-----------------|--------------|
|                                     |  | Très sensible    | Intermédiaire   | Peu sensible |
| Concentration par unité de masse    | K (cmol <sub>e</sub> /kg) <sup>(b)</sup>                             | < 0,08           | [0,08 ; 0,13]   | > 0,13       |
|                                     | Ca (cmol <sub>e</sub> /kg) <sup>(b)</sup>                            | < 0,20           | [0,20 ; 1,00]   | > 1,00       |
|                                     | Mg (cmol <sub>e</sub> /kg) <sup>(b)</sup>                            | < 0,15           | [0,15 ; 0,40]   | > 0,40       |
|                                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (cmol <sub>e</sub> /kg) <sup>(c)</sup> | < 0,04           | [0,04 ; 0,07]   | > 0,07       |
|                                     | Matière organique (%)  | < 3              | [3 ; 6]         | > 6          |
|                                     | C/N  | > 23             | [23 ; 19]       | < 19         |
| Quantité par hectare <sup>(d)</sup> | K (kg/ha)  | < 80             | [80 ; 130]      | > 130        |
|                                     | Ca (kg/ha)   | < 100            | [100 ; 520]     | > 520        |
|                                     | Mg (kg/ha)   | < 50             | [50 ; 125]      | > 125        |
|                                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)                                | < 100            | [100 ; 180]     | > 180        |
|                                     | N (kg/ha)  | < 1 500          | [1 500 ; 3 400] | > 3 400      |

(a) Analyse sur les 20 premiers centimètres du sol.

(b) Centimoles de charges par kg de sol (1cmol de K<sup>+</sup> équivaut à cmol<sub>e</sub> ; 1 cmol de Ca<sup>2+</sup> ou Mg<sup>2+</sup> équivaut à 2 cmol<sub>e</sub>).

(c) Méthode Duchaufour et Bonneau (1959, cités par Bonneau et Ranger, 1999).

(d) Avec une densité apparente de 1,1.

**Figure 6 : Classification de la sensibilité des sols en fonction de leur composition chimique (Bonneau et Ranger, 1999 cités par Cacot *et al.*, 2003).**

En outre, des outils d'analyse plus aboutis tentent également d'être mis en place tel le logiciel FORCYTE (FOrest nutrient Cycling Trend Evaluator). Développé par Kimmins *et al.* (1981 cités par Cacot *et al.*, 2003), il permet d'analyser les exports minéraux de l'azote pour différentes conditions sylvicoles, stationnelles... Cependant, cet outil reste réservé aux personnes averties et ne peut être utilisé de manière opérationnelle par tout un chacun.

### 1.2.3. Autres conséquences liées à la récolte des rémanents

L'extraction des menus bois n'est pas non plus sans influence sur la régénération des peuplements. Non seulement, les rémanents peuvent avoir un effet protecteur contre la dent des ongulés, mais leur pouvoir isolant atténue les écarts thermiques et diminue l'éclairement au sol. En conséquence, la composition spécifique de la régénération peut s'avérer modifiée, quand elle n'est pas inhibée, au profit des essences pionnières qui ne sont bien souvent pas les essences objectifs du futur peuplement (Cacot *et al.*, 2003 ; Cacot *et al.*, 2006).

La modification du microclimat couplée à l'appauvrissement du sol aboutit également à des changements au niveau des cortèges faunistiques et floristiques (Cacot *et al.*, 2003 ; Gautry, 2006).

Sur les coupes où les menus bois ont été exploités, on observe un déclin du taux de mycorhization des racines. Quant aux effets sur la flore vasculaire, l'extraction des menus bois favorise l'envahissement par des espèces rudérales de milieux ouverts, au détriment de la strate muscinale, diminuée de moitié (Gautry, 2006).

La composition spécifique de l'entomofaune et de la biomasse microbienne des sols est également modifiée suite à l'enlèvement des menus bois. Sont notamment touchés les collemboles, araignées et larves de diptères et carabes (Cacot *et al.*, 2003 ; Gautry, 2006). Néanmoins, il est bon de souligner que les détritivores tels les enchytréides et les diplopodes, très influents dans la minéralisation, semblent peu affectés par le prélèvement des menus bois (Cacot *et al.*, 2003).

Enfin, signalons que l'enlèvement des menus bois d'une parcelle peut avoir un effet améliorateur vis-à-vis de la prévention des incendies.

### 1.3. Des outils pour prendre en compte l'intensification de l'exploitation forestière

À la vue des risques que fait peser l'intensification des exploitations forestières sur les écosystèmes forestiers, il s'est avéré nécessaire de développer des outils d'aide à la décision à destination des gestionnaires forestiers.

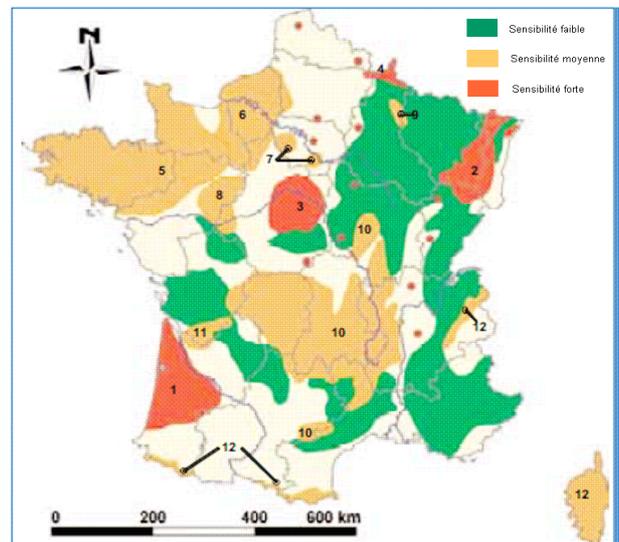
C'est ainsi que se sont développées des méthodes de détermination des sensibilités des sols forestiers. Basés sur des critères de diagnostic simples, l'objectif de ces outils est d'attribuer une classe de sensibilité à chaque écosystème forestier. Ont ainsi été élaborés deux outils intéressants que nous utiliserons pour la présente étude et détaillées plus amplement dans la partie "Matériel et méthode" :

- le guide pratique " *Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt* « PROSOL » " (Pischedda *et al.*, 2009),
- le guide " *La récolte raisonnée des rémanents en forêt* " (Cacot *et al.*, 2006).

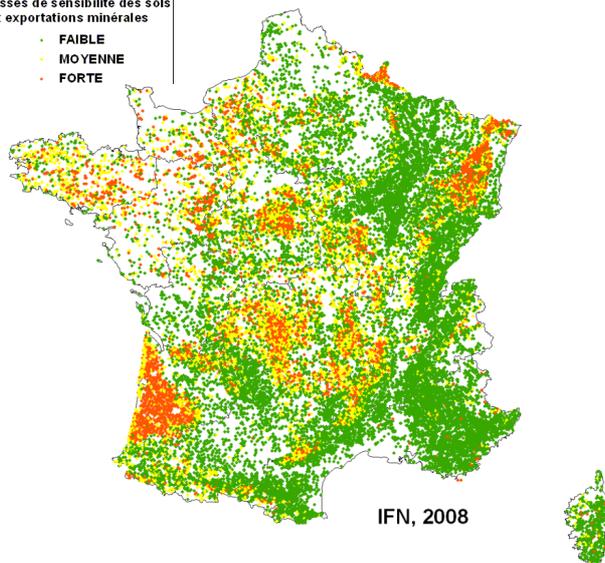
Ces deux outils permettent ainsi d'identifier des zones à risques.

Couplées à des données cartographiques, il est alors envisageable d'établir des cartes de sensibilité. C'est ainsi que des initiatives ont déjà vu le jour telle la carte de sensibilité des sols de France aux exportations minérales, présentées par la carte 1 (Brêthes *et al.* cités par Nicolas *et al.*, 2007) et la carte 2 (Colin *et al.*, 2009).

**Carte 1 : Carte de sensibilité des sols de France aux exportations minérales (Brêthes *et al.* cités par Nicolas *et al.*, 2007)**



Classes de sensibilité des sols aux exportations minérales



**Carte 2 : Carte de la sensibilité minérale réalisées à partir des données ponctuelles de l'IFN (Colin *et al.*, 2009).**

Comme signalé par leurs auteurs, il est cependant nécessaire d'aller plus loin dans l'analyse pour mieux définir les limites des zones et pouvoir renseigner celles pour lesquelles il n'y a pas encore de recommandations...

Pour cela, il semble opportun d'adopter une échelle plus grande par souci de précision. C'est le niveau régional qui semble alors opportun pour ce type d'analyse que ce soit pour des problématiques de tassements des sols forestiers (Staub, 2009) ou d'exportations minérales.

☞ *Ce qu'il faut retenir :*

Le sol est un écosystème complexe constitué d'une superposition d'horizons dont le fonctionnement est régi par les cycles biogéochimiques. Ce milieu triphasique est constitué par 50 à 60 % de particules solides (éléments minéraux et organiques) et par des pores remplis de gaz (air, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>...) ou de liquide (eau, soluté...).

De ces propriétés dépendent l'activité biologique et les échanges gazeux internes aux sols dont dépend le bon fonctionnement de l'écosystème. Ainsi, des perturbations du sol et de son humus engendrent inévitablement des dégradations à long terme et dont la réversibilité est encore assez peu connue.

C'est pourquoi, il est important de maîtriser les activités d'exploitation forestière présentant une menace tant vis-à-vis des caractéristiques physiques (risque de compaction, orniérage, scalpage...) des horizons de surface que de leurs caractéristiques minérales (appauvrissement, acidification...).

C'est partant de ce constat qu'est née l'idée d'établir des niveaux de sensibilité des différents sols forestiers. Basées sur des études scientifiques rigoureuses, l'heure est maintenant à l'application régionalisée de ces protocoles et outils d'évaluation des risques. Tel est le cas de cette étude, impulsée par l'association PEFC Franche-Comté, destinée à couvrir l'ensemble de son territoire d'action pour répondre aux exigences croissantes quant à l'exploitation des menus bois pour des fins d'utilisation énergétique.

## 2. Matériel et méthode

Pour évaluer la sensibilité des sols aux exports minéraux et aux tassements, il est possible d'envisager plusieurs méthodes présentant chacune ses avantages et ses inconvénients. Non seulement, elles diffèrent sur la nature de la donnée d'entrée, mais également sur la précision des résultats.

L'approche la plus précise nécessite de disposer de cartes de sols à une échelle assez fine. À l'heure actuelle, une cartographie des sols forestiers franc-comtois à l'échelle 1/250 000 est en cours d'élaboration à l'université de Franche-Comté mais sa finalisation est prévue dans les années à venir. En outre, la même cartographie à une échelle plus fine (1/100 000) qui serait plus pertinente pour notre étude n'en est quant à elle qu'à la réflexion (Lucot, communication personnelle).

Certaines évaluations de sensibilités des sols aux tassements ont également été réalisées à partir des données de l'inventaire forestier national (Staub, 2007). Cette méthode permet l'obtention de carte de portée régionale. Les résultats donnent ainsi de grandes tendances par grande unité géomorphologique mais la carte n'est pas suffisamment précise à l'échelle de la propriété ou bien même d'un massif.

La dernière option consiste à aborder l'évaluation de ces sensibilités sous l'angle des stations forestières. L'avantage de cette méthode réside dans la précision des résultats qui sont alors applicables à des échelles fines (massif, propriété voire même parcelle forestière). Cependant, le gestionnaire ou propriétaire de la forêt doit alors avoir une excellente connaissance de la propriété (l'idéal étant de disposer d'une cartographie des stations).

L'approche retenue pour notre étude présente deux niveaux.

Le premier est destiné à fournir une cartographie des sensibilités sur l'ensemble de la région Franche-Comté. Cet outil, réalisé à partir des données de l'inventaire forestier national (IFN), aura pour objectif de se donner une première idée concernant les potentialités et impacts du prélèvement des menus bois.

Le deuxième niveau sera basé sur l'approche stationnelle de sorte à concilier précision de l'information et facilité d'appréhension pour les propriétaires. Or les stations répondent à ce critère suite à l'effort de vulgarisation réalisé à travers les divers guides de choix des essences.

Cette double vision est destinée à coller au plus près aux exigences des propriétaires dont le temps alloué et les connaissances forestières varient grandement.

Ainsi, la carte régionale sera notamment destinée aux propriétaires "pressés" ainsi qu'à ceux ne disposant pas de formation suffisante pour aborder l'aspect stationnel.

Quant aux propriétaires plus informés, ils n'auront alors qu'à se référer à la carte des stations de leur plan simple de gestion (PSG) ou bien réaliser quelques relevés sur leurs propriétés.

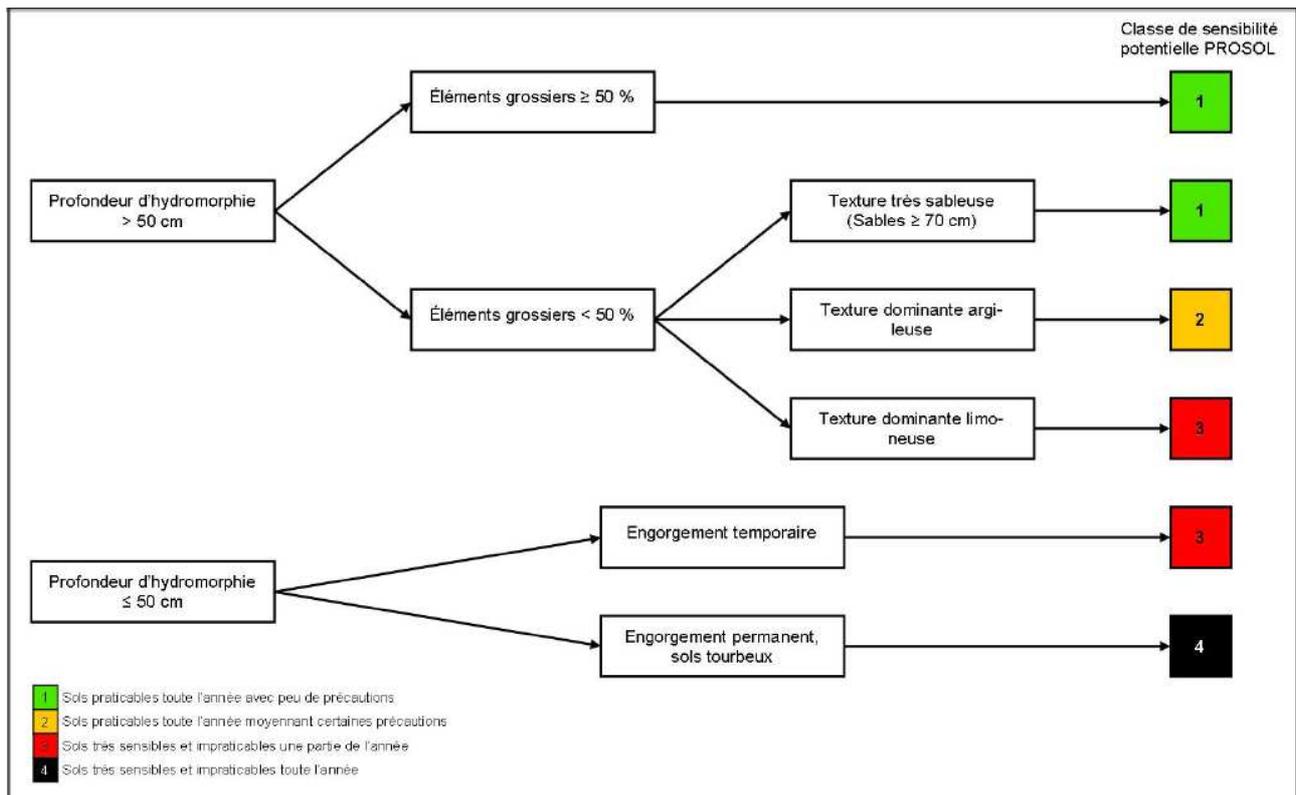
### 2.1.Évaluation de la sensibilité des stations

#### 2.1.1. Sensibilité physique aux tassements

Les paramètres discriminants influant sur la sensibilité des sols aux tassements sont les suivants (Lefèvre et Ranger, 2004 ; Lamandé *et al.*, 2005) :

- la charge en éléments grossiers,
- la texture,
- l'hydromorphie et
- la profondeur de la nappe permanente.

Leur combinaison permet de classer les sols forestiers en 4 classes de sensibilité (Pischedda *et al.*, 2009). Reprenant le tableau de classement de PROSOL (Pischedda *et al.*, 2009), Staub (2009) a formalisé la clé de détermination ci-dessous, plus intuitive à utiliser.



**Figure 7 : Clé de détermination de la sensibilité des sols aux tassements (Staub, 2009).**

Des études utilisant ce classement PROSOL (Pischedda *et al.*, 2009) ont déjà pu être menées en Lorraine (Staub, 2009) et en Alsace (ONF, 2009) et ont démontré leur utilité ainsi que la cohérence de leur classement.

Quelques précisions méritent d'être soulignées quant aux paramètres étudiés :

- la texture, la pierrosité et l'hydromorphie sont à considérer sur l'ensemble des horizons prospectables par les racines, des horizons A aux horizons C,
- la texture à prendre en compte est la texture la plus fragile rencontrée dans le profil pédologique,
- la charge en éléments grossiers prise en considération correspond à la moyenne pondérée (par l'épaisseur) de la charge en éléments grossiers de chaque horizon du profil,
- l'hydromorphie considérée correspondra à la profondeur d'apparition de l'horizon rédoxique (anciennement : pseudogley), jugée plus pertinente que la profondeur d'apparitions des traces d'oxydation (Staub, 2009),
- pour juger de la profondeur de la nappe permanente, nous considérerons la profondeur d'apparition de l'horizon réductique (anciennement : gley).

### 2.1.2. Sensibilité chimique à l'exportation minérale

La sensibilité chimique des sols vis-à-vis de l'exportation minérale est principalement expliquée par les paramètres suivants (Cacot *et al.*, 2003 ; Cacot *et al.*, 2005 ; Cacot *et al.*, 2007) :

- le pH de l'horizon A directement corrélé à la forme de l'humus et
- la texture dans une moindre mesure.

Trois classes de sensibilité ont ainsi pu être définies en fonction de ces paramètres et il est possible de recourir au diagramme ci-après (figure 8) pour leur détermination.

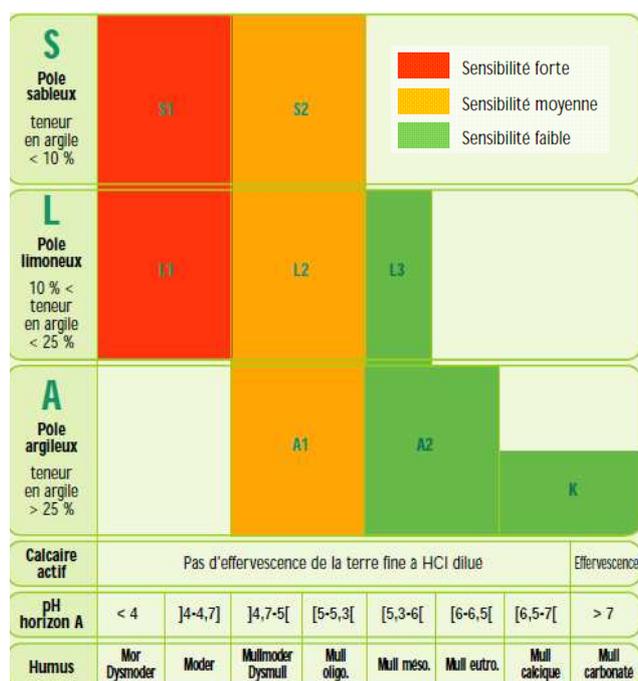


Figure 8 : Diagramme de détermination de la sensibilité des sols aux exportations minérales (modification personnelle à partir de Cacot *et al.* (2006) pour répondre aux résultats des nouvelles expérimentations établies par Cacot *et al.* (2007)).

Là encore, une déclinaison régionale de ces résultats a déjà pu être menée en Alsace (ONF, 2009) et a démontré sa pertinence.

Précisons ici que la texture considérée pour entrer dans ce diagramme doit être évaluée à une profondeur de 20 cm. Cependant, prise en elle-même, elle ne permet pas de juger précisément de la sensibilité mais seulement d'exclure certaines classes.

En outre, notons ici qu'il est possible de trouver dans la bibliographie une autre version du diagramme présentée ci-dessus. Il s'agit de la version qui a été diffusée par l'ADEME dans son guide de vulgarisation « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » (Cacot *et al.*, 2006). Cependant, Cacot *et al.* (2007) ont re-précisé les limites de la classe de sensibilité moyenne qui s'est traduite par une restriction de cette classe aux bornes minimale de 4,7 et maximale de 5,3. Pour les besoins de notre étude nous utiliserons cette dernière version du travail et non pas celle diffusée dans le guide de l'ADEME, datant de 2006.

## 2.2. Les données utilisées et leurs traitements

### 2.2.1. Les données IFN

L'IFN a en charge l'inventaire de l'ensemble des forêts françaises. Celui-ci est effectué à partir d'un maillage statistique régulier de points d'échantillonnage pour lesquels de nombreuses informations sont relevées concernant non seulement le peuplement, la flore mais également certains paramètres écologiques. Sont notamment décrites pour chaque point, les caractéristiques pédologiques, telles que le type de sol, la charge en éléments grossiers, la(les) texture(s) ou encore l'humus et les profondeurs d'apparition des traces d'hydromorphie... Il est donc envisageable d'utiliser ces données regroupant tous les paramètres nécessaires à l'application de notre protocole.

Une partie des données IFN est mise à disposition gratuitement sur son site internet. Elles correspondent aux campagnes de relevés de 2005 à 2009.

La région Franche-Comté y est décrite par l'intermédiaire de 1 708 points d'échantillonnage forestiers. Néanmoins, les paramètres écologiques suivent un continuum qui fait fi des limites administratives. Une zone tampon de 25 km autour de la région Franche-Comté a donc été établie de sorte à en intégrer les données pour l'étude des caractéristiques pédologiques. L'analyse a donc porté sur un échantillon de 2 815

points. Cependant, tous les points ne présentant pas toutes les informations nécessaires au traitement des données, de nouveaux tris, résumés par le tableau ci-après ont été effectués.

**Tableau 2 : Récapitulatif des données ponctuelles IFN disponibles pour l'étude.**

|  | <b>Région<br/>Franche-Comté</b> | <b>Franche-Comté +<br/>tampon 25 km</b> |
|--|---------------------------------|---|
| Nombre total de points IFN disponibles   | 1 708                           | 2 815                                   |
| - avec les données "Humus" renseignées   | 1 708                           | 2 814                                   |
| - avec les données "Humus" nécessaires pour l'évaluation du pH   | 1 625                           | 2 670                                   |
| - avec les données "Portance" renseignées par l'IFN (données 2009)                                       | 310                             | 518                                     |
| - avec les données pédologiques nécessaires pour le traitement cartographique (voir le paragraphe 2.2.2) | 1 700                           | 2 801                                   |

La surface forestière franc-comtoise est estimée à 729 612,58 ha (Source Corine Land Cover de 2006 ; codes retenus : 311 – Forêts feuillues, 312 – Forêts résineuses, 313 – Forêts mélangées, 323 – Forêts sclérophylles et 324 – Boisements épars), soit environ 45 % de la surface administrative.

En conséquence les 1 708 points IFN représentent un maillage d'un point pour environ 430 ha forestiers.

### 2.2.2. Le traitement cartographique des données IFN

L'analyse cartographique est basée sur le principe d'interpolations de données numériques géoréférencées dans l'objectif de disposer d'une estimation des valeurs de chaque paramètre calculé sur l'ensemble de la région Franche-Comté. Pour cela, il a été fait appel aux fonctionnalités cartographiques des logiciels SIG Quantum GIS (version 1.6 "Copiapó") et GRASS (version 6.4).

#### 2.2.2.1. Le choix de la méthode

Une attention toute particulière a également été portée sur le choix de la méthode d'interpolation. Il en existe en effet plusieurs types (pondération, Krigeage, méthode des splines) qui diffèrent en fonction de leurs données d'entrée, de leur fiabilité et de leurs résultats.

Pour la réalisation de nos interpolations, il a été estimé que les caractéristiques d'un sol en un point donné sont fortement reliées aux caractéristiques des sols adjacents à ce point. Le choix de la méthode d'interpolation devait donc tenir compte de cette constatation.

En outre, la méthode utilisée devait permettre d'obtenir des résultats fiables tout en s'adaptant à nos données d'entrée. En effet, à titre d'exemple, le Krigeage nécessite d'avoir des données à différentes échelles afin de déterminer la variabilité des données en fonction de l'échelle. Cette méthode n'est donc guère adaptée à notre maillage de points régulièrement répartis sur l'ensemble de la région.

C'est pourquoi il a été fait recours à l'interpolation spatiale par pondération inverse à la distance (PID) parfois plus connue sous la dénomination anglaise "inverse distance weighting" (IDW).

Notre choix s'est tourné vers cette méthode pour plusieurs raisons. Non seulement, l'application de cette technique était compatible avec nos données d'entrée, mais elle permet en outre d'obtenir des résultats crédibles du fait de la robustesse de cette méthode.

Signalons enfin qu'en matière de cartographie en pédologie, il est souvent fait appel à cette méthode d'interpolation. Staub (2009) a notamment utilisé la pondération inverse à la distance dans son approche concernant l'évaluation de la sensibilité des sols aux tassements, problématique similaire à la notre.

#### 2.2.2.2. Le principe de calcul

Chaque valeur des points "cibles"  $\alpha_{\text{Cible}}$  est alors calculée comme étant une moyenne pondérée par l'inverse de la distance  $d$  des valeurs  $\alpha$  des points  $i$  d'échantillonnage.

En conséquence, plus un point est éloigné du point cible, moins sa valeur sera influente sur le résultat ; autrement dit les points auront d'autant plus de poids qu'ils sont proches du point cible pour lequel on veut effectuer le calcul.

Cette méthode intègre une puissance de pondération  $p$  intervenant en exposant vis-à-vis de la distance. L'utilisation d'une puissance  $p$  élevée permet de concentrer le calcul de la valeur estimée sur les points les plus proches ; la surface conçue présentera alors davantage de détails (moins de lissage).

Notons qu'il est aussi possible de limiter le calcul à une certaine aire d'influence autour de la cible, ce qui se traduit par une limitation du nombre de points  $V(Cible)$  participant au calcul.

Au final, la formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$\alpha_{Cible} = \sum_{i \in V(Cible)} \frac{\frac{1}{d^p} \alpha_i}{\sum_{i \in V(Cible)} \frac{1}{d^p}}$$

Pour notre étude, une puissance 3 a été appliquée aux calculs pour répondre à la volonté précédemment citée de considérer les valeurs les plus proches des points cibles tout en conciliant le lissage de la carte et la précision des évaluations.

### 2.2.2.3. Les limites de l'interpolation

L'interpolation suppose un continuum des paramètres, ce qui semble être intellectuellement acceptable vis-à-vis de la texture, la charge en éléments grossiers ou encore le pH des sols. En revanche, des interrogations peuvent être soulevées quant à la continuité concernant l'apparition du pseudogley ou du gley. Ces paramètres peuvent en effet être reliés à des conditions locales telle la topographie.

L'utilisation de covariables, couplées aux méthodes d'interpolation, pourrait ainsi permettre de préciser les résultats de la cartographie.

Cette piste de réflexion n'a cependant pas été testée dans la présente étude.

En outre, l'échantillonnage de l'IFN présente un maillage assez lâche de 3 km environ. Les résultats de la cartographie ne peuvent donc donner que des tendances générales et ne sont pas suffisamment précis pour être utilisables directement à l'échelle d'une propriété forestière.

### 2.2.2.4. Sensibilité aux tassements

La première étape a consisté à cibler les paramètres utiles à notre traitement et à les extraire de la base de données originale de l'IFN.

La charge en éléments grossiers a été appréhendée par l'intermédiaire du champ "CAILLOUX". Ce champ étant rempli par un code correspondant à des classes de pierrosité, un reclassement a été effectué de sorte à attribuer pour chaque code la valeur moyenne de la classe ; la table de reclassement étant disponible en annexe 1 (Staub, 2009).

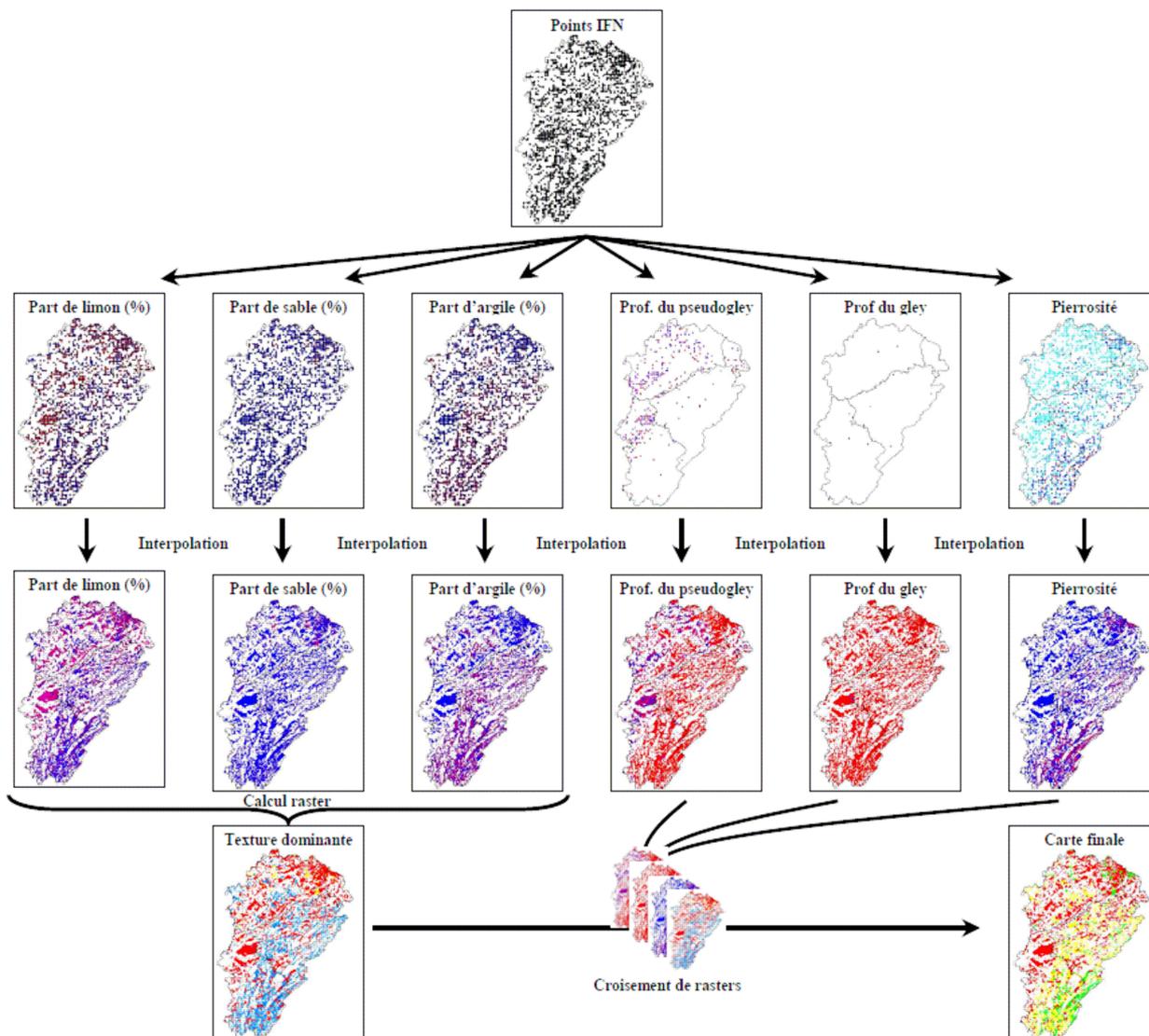
Pour prendre en compte l'hydromorphie, il a été choisi de considérer la profondeur d'apparition du pseudogley "PPSEUDO", jugée plus pertinente que la profondeur d'apparition des tâches d'oxydation (Staub, 2009). A l'instar de la charge en éléments grossiers, le codage employé par l'IFN a dû subir un reclassement dont la table est disponible en annexe 1.

La profondeur de la nappe permanente est quant à elle évaluée par le biais de la profondeur d'apparition du gley "PGLEY" qui a subi le même reclassement que "PPSEUDO" (Staub, 2009).

Enfin, la texture prise en compte est la texture la plus sensible rencontrée dans les 50 premiers centimètres de sols ; l'objectif étant, une fois la texture déterminée, d'en extraire les parts d'argiles, de limons et de sables. En conséquence, une table de décision, disponible en annexe 1, a donc été établie pour le report de la texture la plus sensible entre les champs "TEXT1" et "TEXT2". Les parts de chaque composant correspondent alors aux valeurs moyennes de la classe texturale déterminée. Dans le cas de deux textures de sensibilité équivalente, les parts de chaque composant sont alors déterminées en calculant la moyenne des pourcentages d'argiles, de limons et de sables de chacun des horizons décrits (Staub, 2009).

Six couches de données interpolées ont ainsi été obtenues selon une maille carrée de 100 mètres de côté : part en argile, part de limon, part de sable, charge en cailloux, profondeur d'hydromorphie (pseudogley) et profondeur de l'engorgement permanent (gley réduit) des sols.

Leur croisement, illustré par le schéma ci-dessous, a permis de déterminer pour chaque point de la maille une sensibilité aux tassements selon les critères du guide PROSOL (Pischedda *et al.*, 2009 et Staub, 2009).



**Figure 9 : Traitement des données IFN pour la carte de sensibilités des sols forestiers aux tassements.**

Notons que l'utilisation d'un masque raster comprenant la couverture forestière a permis de limiter l'emprise du résultat aux forêts franc-comtoises tout en considérant pour le calcul l'ensemble des données, y compris celles situées hors du masque en question.

#### 2.2.2.5. Sensibilité à l'exportation minérale

Ont été extraites de la base de données IFN, les informations concernant l'humus et la texture.

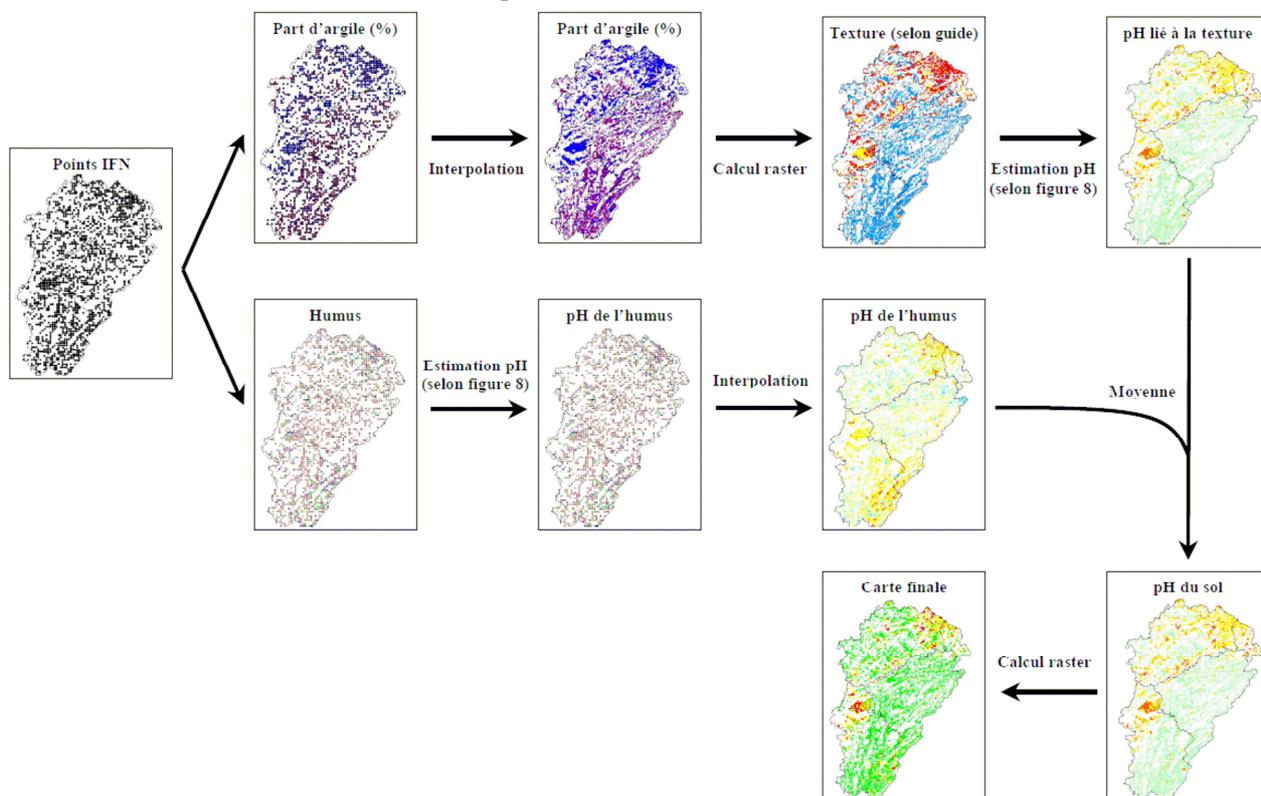
Pour chaque point de relevé, l'inventaire forestier national relève le type d'humus qu'il synthétise sous la forme d'un code dans le champ "HUMUS" de sa base de données. Il s'agit donc d'une donnée qualitative. Or pour le recours à l'interpolation il est plus aisé d'avoir recours à des données quantitatives. Un tableau de correspondance entre l'humus relevé et le pH de l'horizon A a donc été utilisé pour attribuer à chaque type d'humus une valeur de pH. La table de reclassement est disponible en annexe 1. Une interpolation de ces données ponctuelles a ainsi permis d'étendre les données d'entrée à l'ensemble de la région franc-comtoise.

Là encore, c'est la méthode de l'interpolation spatiale par pondération inverse à la distance (PID) qui a été utilisée en utilisant une puissance 3 pour les mêmes raisons sus-évoquées dans le paragraphe relatif à l'évaluation de la sensibilité aux tassements.

Quant à la texture, c'est le pourcentage d'argile constituant le sol qui nous intéresse ici. Il a donc été choisi de réutiliser la couche raster correspondant au calcul de la part d'argile, créée pour l'évaluation de la sensibilité des sols aux tassements. En fonction de cette part d'argile, la dominante texturale des sols forestiers a ensuite été déterminée en fonction des critères établis dans le guide de l'ADEME (texture sableuse en deçà de 10 % d'argile ; texture argileuse au-delà de 25 % d'argile et limoneuse entre 10 et 25 % d'argile). A l'instar de ce qui a été fait concernant l'humus, il a été attribué à chaque classe texturale ainsi déterminée une valeur de pH. La table de reclassement est disponible en annexe 1.

Une valeur de pH des sols forestiers a alors été calculée comme étant la moyenne entre les deux pH provenant d'une part des données de texture des sols et d'autre part de la donnée relative à l'humus. À partir de cette valeur a ensuite été attribuée une sensibilité des sols forestiers à l'exportation minérale (Cacot *et al.*, 2007).

Le schéma ci-dessous illustre le mode opératoire suivi.



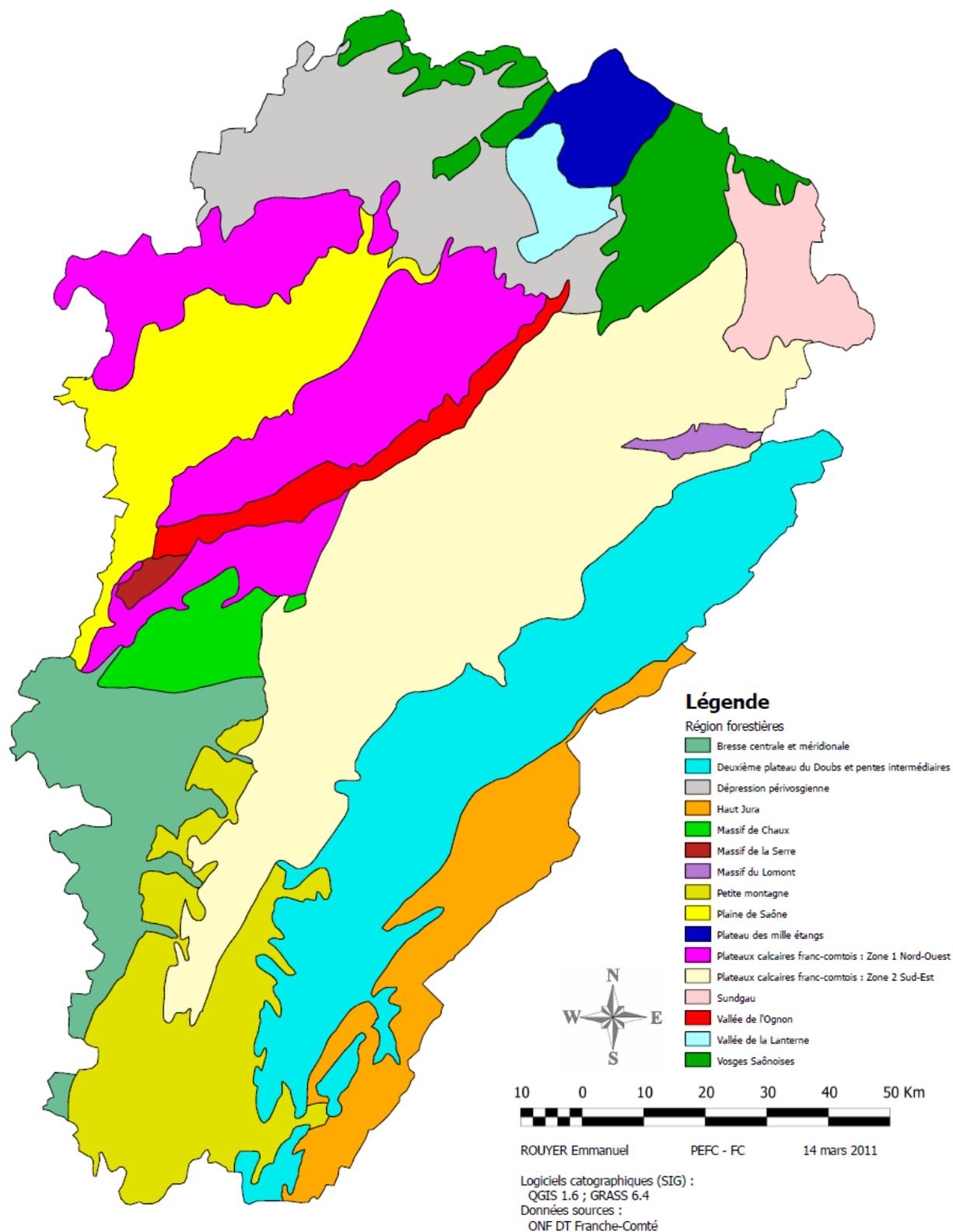
**Figure 10 : Traitement des données IFN pour l'obtention de la carte de sensibilités des sols forestiers à l'exportation minérale.**

### 2.2.3. Les données stationnelles

La région Franche-Comté chevauche le territoire de trois grandes régions écologiques (GRECO) : les Vosges, le Jura et le Grand-Est semi-continentale. Neuf sylvoécotones (SER) y sont représentées (Cavaignac, 2009) et 16 zones de typologie de stations forestières (voir la carte 3) y ont été définies.

Pour notre étude, il a été décidé de se baser sur le découpage des zones de typologie de stations forestières dont 13 d'entre elles sont pourvues d'un catalogue de stations forestières et neuf d'entre elles sont dotées d'un guide simplifié de choix des essences (Société forestière de Franche-Comté, 1997 et Abt, communication personnelle). Couramment employés par les gestionnaires et les propriétaires forestiers comtois, ces documents font actuellement référence quant aux préconisations sylvicoles.

## Cartographie des régions forestières franc-comtoises



Carte 3 : Carte des régions forestières franc-comtoises (Abt, communication personnelle).

Le tableau 3 énumère les 16 zones d'application de catalogues typologiques en précisant le nombre de stations décrites pour chacun d'entre eux.

**Tableau 3 : Récapitulatif des catalogues de stations forestières franc-comtoises.**

| Région d'application du catalogue                           | Références                                   | Nombre de stations décrites |
|---|--|-----------------------------|
| <i>Vallée de l'Ognon</i>                                    | (Zipper, 2008)                               | 23                          |
| <i>Plaine de Saône</i>                                      | (Bailly, 1995)                               | 46                          |
| <i>Bresse centrale et méridionale</i>                       | (Nicloux et Didier, 1988)                    | 32                          |
| <i>Massif de Chaux</i>                                      | (Bailly, 1989)                               | 57                          |
| <i>Plateau des Mille Étangs</i>                             | (Gégout, 1992b)                              | 18                          |
| <i>Vosges saônoises</i>                                     | (Beaufils, 2003)                             | 41                          |
| <i>Dépression périvosgienne dont vallée de la Lanterne</i>  | (Perrier et Ruffaldi, 1986 et Gégout, 1992a) | 36 + 12                     |
| <i>Plateaux calcaires franc-comtois – Zone 1 Nord-Ouest</i> | (Beaufils et Bailly, 1998)                   | 26                          |
| <i>Plateaux calcaires franc-comtois – Zone 2 Sud-Est</i>    | (Beaufils et Bailly, 1998)                   | 36                          |
| <i>Deuxième plateau du Doubs et pentes intermédiaires</i>   | (Beaufils, 2001a)                            | 31                          |
| <i>Sundgau</i>  | (Beaufils, 2009)                             | 17                          |
| <i>Massif du Lomont</i>                                     | -  | -                           |
| <i>Massif de la Serre</i>                                   | -  | -                           |
| <i>Petite montagne</i>                                      | (Beaufils et Bailly, 2007)                   | 40                          |
| <i>Haut Jura</i>  | -  | -                           |

Chacune des 415 stations est en général décrite par un ou plusieurs exemples types dont les caractéristiques pédologiques ont été retranscrites dans ma base de données informatique. Au final, ce sont donc 495 descriptions de stations qui ont été regroupées et sur lesquelles s'est ensuite bâtie l'analyse.

## 2.3. Possibilité d'un regroupement

### 2.3.1. Stations « transversales »

Certaines stations plus ou moins courantes peuvent se retrouver d'un catalogue à l'autre ; j'en veux pour exemple les stations de bords de cours d'eau, les ripisylves. Présentant, en général, les mêmes sensibilités d'une région d'application à l'autre, elles ont été automatiquement regroupées.

En outre, les typologies de stations forestières ont souvent poussé les distinctions à l'extrême. Il en résulte que ces catalogues sont souvent difficiles d'utilisation et très peu utilisés du fait de leur complexité, d'où l'existence des guides simplifiés de stations forestières opérant à des regroupement de types stationnels.

À l'instar de ces guides, des regroupements ont également été envisagés pour des stations relativement similaires. Ces regroupements sont principalement exécutés à dire d'expert en se basant sur les ressemblances et les dissemblances des différentes descriptions. Cette première approche de classement s'est donc effectuée tant sur les regroupements déjà réalisés pour la diffusion des guides des choix des essences que sur une appréciation personnelle.

### 2.3.2. Analyses multivariées

Des analyses multivariées ont été envisagées pour la validation de ces choix de regroupement. Les données d'entrée choisies pour être intégrées à ces analyses correspondent aux exemples-types des catalogues de stations forestières établies sur l'ensemble de la Franche-Comté.

La base de données initiale doit contenir les données concernant la forme d'humus, la texture la plus sensible rencontrée dans le profil de sol, la charge en éléments grossiers et les profondeurs d'apparition du pseudogley voire du gley, le cas échéant.

La première analyse consiste en une analyse en composante principale (ACP). Son exécution nécessite un reclassement des données qualitatives (l'humus et la texture la plus sensible) en données quantitatives. Les tables de recodage utilisées sont données en annexe 2.

Des analyses factorielles discriminantes (AFD) peuvent également être effectuées. L'objectif de ces analyses est de vérifier statistiquement la cohérence des regroupements réalisés.

Enfin, une classification ascendante hiérarchique (CAH) peut aider au regroupement ainsi qu'à l'établissement de l'outil de détermination des groupes.

## 2.4. Validation sur le terrain

À la suite de la réalisation de ces différents regroupements mais également à la définition des sensibilités des stations, il a été effectué une campagne de tests de terrain dont l'objectif était de juger leur validité.

Pour cela, deux réunions de présentation de l'outil ont été menées ; l'une à destination des gestionnaires des milieux forestiers, l'autre auprès des propriétaires forestiers.

La première citée a réuni du personnel du CRPF, de l'ONF, des chambres d'agriculture et des coopératives forestières. Elle a notamment permis de vérifier la justesse des regroupements.

Quant à la deuxième réunion, elle a été menée dans le cadre du CETEF auprès des propriétaires forestiers de sorte à tester la facilité d'appropriation de l'outil.

En outre, en vue de leur validation, les cartes de sensibilités ont été soumises à l'expertise de professionnels connus pour leurs connaissances des écosystèmes forestiers. Ils ont ainsi pu juger de la pertinence de la carte et émettre des réserves vis-à-vis de certaines zones. La liste des personnes contactées et leurs fonctions est mentionnée ci-après :

|                     |  |
|---------------------|--|
| Éric LUCOT          | Université de Franche-Comté ; Laboratoire Chrono-Environnement |
| Damien CHANTERANNE  | CRPF   |
| Patrick LÉCHINE     | CRPF   |
| Sandra PÉROUX       | CRPF   |
| Alain ZIPPER        | ONF  |
| Dominique ABT       | ONF  |
| Laurence LEBRET     | FBE  |
| Emmanuel CLERC      | FBE  |
| Stéphane POUCHOULOU | Coforêt  |
| Thérèse BEAUFILS    | Conservatoire botanique national                               |
| Michel CARMINATI    | CFPPA de Chateaufarine   |
| Gérard PAVLINOVAC   | CFPPA de Chateaufarine   |
| Michel VERDOT       | PEFC Franche-Comté   |
| Stéphane LEFÈVRE    | PEFC Franche-Comté   |
| Charles ALLEGRIANI  | Société Forestière de Franche-Comté                            |
| Laurent PETIT       | Entrepreneur de travaux forestiers                             |
| Michel PRETOT       | Entrepreneur de travaux forestiers                             |

Bien que leur avis eût été grandement appréciable, d'autres personnes contactées n'ont cependant pas pu apporter leur contribution au travail critique de ces cartes :

Gilles BAILLY

Conservatoire botanique national

### **Ce qu'il faut retenir :**

Les protocoles retenus pour l'évaluation de la sensibilité des sols forestiers à l'exportation minérale et aux tassements sont respectivement :

- le guide ADEME (Cacot *et al.*, 2006), enrichi de ses études complémentaires (Cacot *et al.*, 2007),
- le guide PROSOL (Pischedda *et al.*, 2009).

Deux objectifs seront recherchés :

- une approche cartographique à partir des points de l'IFN et des méthodes de géostatistique,
- un classement des stations forestières en fonction de leur degré de sensibilité.

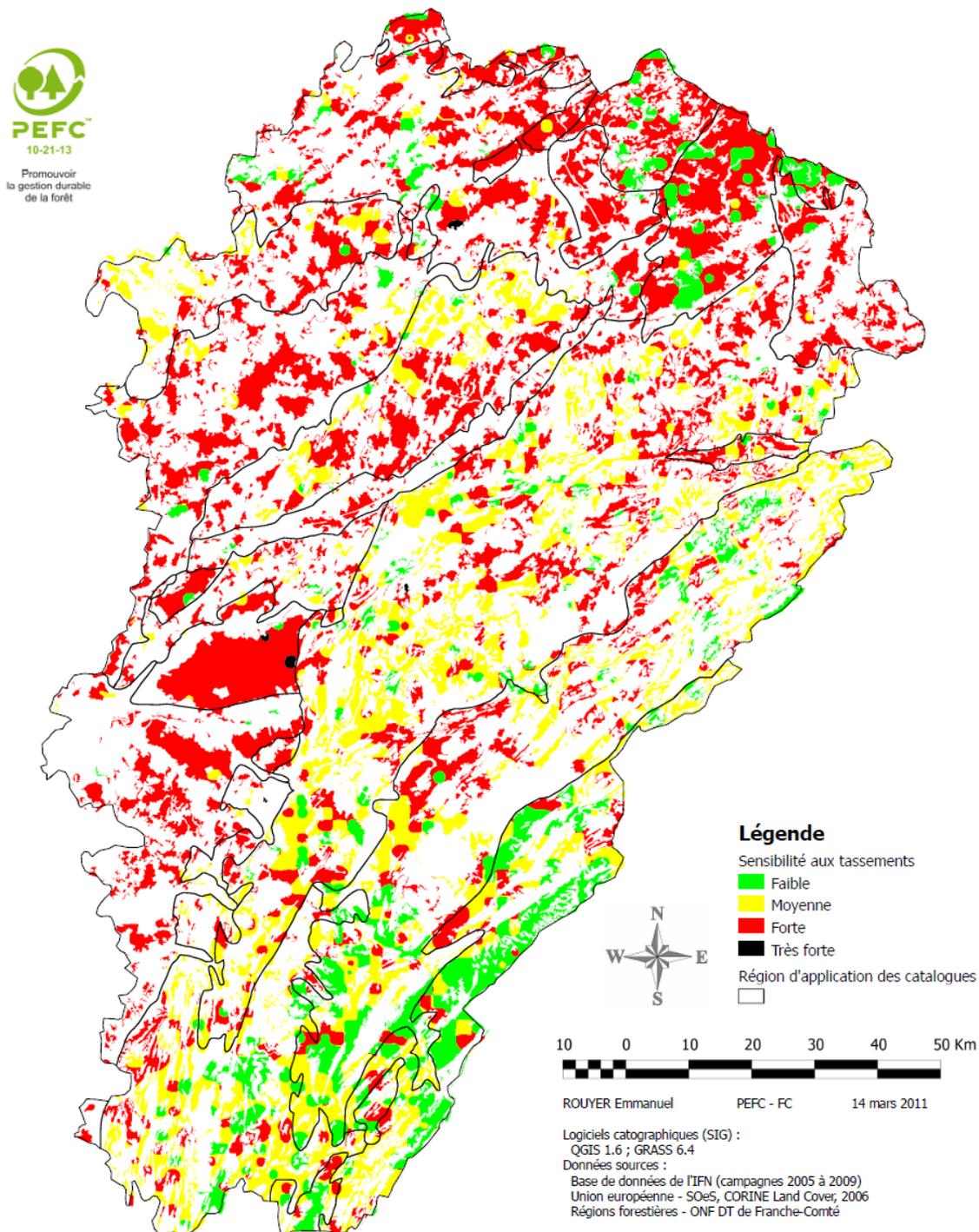
### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. La phase cartographique

##### 3.1.1. Sensibilité physique aux tassements

La carte de sensibilité des sols aux tassements forestiers élaborée à partir des données de l'inventaire forestier national est présentée ci-après.

### Cartographie de la sensibilité des sols forestiers aux tassements (selon la classification PROSOL)



**Carte 4 : Carte de la sensibilité des sols forestiers franc-comtois aux tassements (déclinaison régionale de la classification PROSOL).**

### *3.1.1.1. Les commentaires des professionnels sur la carte*

Les commentaires et réserves formulés par les professionnels consultés sont retranscrits ci-après par grandes régions d'applications des catalogues forestiers.

#### Vallée de l'Ognon

Cette région est dans l'ensemble bien caractérisée, la sensibilité forte aux tassements la domine nettement bien que ne ressortent pas de cette cartographie les secteurs fortement sensibles des stations A1, A2, A3, A4, T6 et T7 en raison de leur faible étendue spatiale.

#### Plaine de Saône

À l'instar des régions de plaines et vallées, la plaine de Saône est majoritairement fortement sensible quant à la problématique des tassements de sols. La carte traduit bien cette situation.

#### Bresse centrale et méridionale

Région de plaine à dominante limoneuse et à engorgement temporaire sur bon nombre des stations, la sensibilité aux tassements y est reconnue. Elle ressort nettement du traitement des données pédologiques collectées lors des relevés IFN.

#### Massif de Chaux

Le massif apparaît intégralement en sensibilité forte, néanmoins des restrictions ont été soulevées. Elles concernent des "langues" de stations caillouteuses, faiblement sensibles, notamment présentes sur les zones de versants. À l'inverse, certaines personnes consultées se sont étonnées de la faible représentation des stations à très forte sensibilité. Dans l'ensemble, la dominance de la sensibilité forte satisfait bon nombre des partenaires interrogés. Il est notamment possible de distinguer les grands secteurs marécageux d'Étrepigny et de Liesle qui apparaissent logiquement en sensibilité très forte.

#### Plateau des Mille Étangs

Majoritairement, dans cette région connue pour son engorgement fréquent, la sensibilité forte traduit bien la réalité du terrain bien que la faible importance spatiale des zones à très forte sensibilité ait parfois pu être évoquée.

#### Vosges saônoises

La sensibilité aux tassements y est très tranchée passant de lentilles à sensibilité faible à une sensibilité majoritairement forte dans la région. Les résultats constatés y sont discutés mais semblent pouvoir trouver une explication du fait que la région présente des poches de sables peu sensibles incrustées dans une matrice limono-sableuse qui s'avère quant à elle présenter des problèmes importants de tassements des sols.

#### Dépression périvosgienne

La dominante fortement sensible de la région est en adéquation avec ce que les professionnels ont fait état lors de leurs commentaires.

#### Plateaux calcaires Zone 1 : Avant-monts occidentaux et plateaux calcaires hauts-saônois

La carte est cohérente. Les zones à sensibilité forte en raison des placages limoneux éoliens contrastent avec les zones argileuses à sensibilité moyenne. Pour exemple, le secteur de Champlitte connu pour sa moindre sensibilité aux tassements ressort très bien de cette analyse cartographique.

#### Plateaux calcaires Zone 2 : Avant-monts orientaux et premiers plateaux du Doubs et du Jura

Les dires des professionnels font état d'une sensibilité aux tassements plus marquée dans la partie Est que dans le reste de la région. Ceci semble en effet ressortir assez nettement de la carte proposée.

#### Deuxième plateau du Doubs et pentes intermédiaires

De l'avis des personnes interrogées, les problèmes de tassements ne sont pas des plus préoccupants sur la région. Néanmoins, la forêt de Levier est connue pour sa sensibilité forte aux tassements et est assez fidèlement retranscrite par la carte.

### Sundgau

Région connue pour sa dominante limoneuse et son engorgement fréquent, la sensibilité y est forte.

### Massif de Lomont

Faisant partie des premiers plateaux du Doubs, pour certaines personnes interrogées, les constats y sont similaires : une alternance de zones fortement sensibles et de zones moyennement sensibles.

### Massif de la Serre

De nombreux placages de limons caractérisent les versants de ce massif et sont à l'origine du classement de la région en sensibilité forte. Cependant certaines zones, notamment la crête du massif, sont moins sensibles que ce que la carte veut bien faire paraître.

### Petite Montagne

Cette région est caractérisée par un relief contrasté où s'enchevêtrent des sols superficiels et des sols plus profonds constitués d'argiles de décarbonatation, voire parfois de limons éoliens. La zone y est ainsi une mosaïque de sols forestiers, majoritairement assez peu sensible aux problèmes de tassements.

### Haut Jura

Il a été fait état de la variabilité de la région avec une alternance entre les régions de crête très peu sensibles et les bas de pentes à sols souvent profonds et sensibles. Ainsi, la carte, présentant cette même variabilité, semble traduire assez fidèlement les constatations de terrain.

Dans l'ensemble, la carte a été jugée pertinente par l'ensemble des professionnels consultés, des entrepreneurs de travaux forestiers aux chercheurs, en passant par les gestionnaires. Même si certains restent sceptiques quand à l'utilisation et à la validité de cette carte, nombre d'entre eux ont été étonnés par la précision et la fidélité des résultats obtenus.

Rappelons cependant que ces cartes ont une valeur d'ensemble, destinées à se faire une idée de la sensibilité de zones forestières étendues (de plusieurs centaines d'hectares). En revanche, leur validité devient toute relative à l'échelle d'un petit massif, d'une forêt et encore plus d'une parcelle forestière.

#### *3.1.1.2. Discussions*

La réalisation de ces cartes a posé nombre de questions auxquelles nous avons essayé d'apporter des réponses.

Ainsi, à la vue des résultats, la distinction entre les sensibilités forte et très forte peut être sujette à discussion, la catégorie de sols très fortement sensibles n'apparaissant presque pas sur la cartographie. Cependant, il est opportun de rappeler ici que cette classe correspond à des sols engorgés en permanence à une profondeur inférieure à 50 cm, ce qui n'est pas très courant même en forêt de Chauv, heureusement pour la production et l'exploitation de forêts franc-comtoises. De plus ces régions sont bien souvent spatialement restreintes et leur représentativité dépend donc l'échantillonnage. Cependant, il convient de les séparer des sensibilités fortes en raison du matériel spécifique qui est requis pour exploiter ces zones ; quitte à ce que peu de zones apparaissent dans les résultats finaux.

En outre, la prédominance de la classe de sensibilité forte a entraîné une autre question. Ne faut-il pas en diminuer son importance au profit de la classe de sensibilité moyenne. Renouf (2009) s'était déjà posé la même question au cours de son étude de sensibilités des sols de quatre massifs forestiers en région picarde. Sa réponse a consisté à rehausser l'importance de la classe moyenne en utilisant un système de notation pour chaque paramètre pris en considération (charge en éléments grossiers, texture et hydromorphie). Par addition, cela conduit à une note finale sur une échelle de 9, ensuite re-subdivisé en quatre classes selon des critères qui ne sont pas mentionnés donc difficilement réutilisables.

En outre, comme il est mentionné dans son rapport, les sols rencontrés lors de son étude sont limoneux avec l'existence par endroit de poches de sables. Pour moi, ceci suffit à expliquer l'absence de sensibilité moyenne puisque les sols argileux, à l'origine de la classe moyenne de sensibilité, y sont absents. Ainsi,

l'absence de transition entre sensibilité faible et forte n'est pour moi pas choquante puisqu'elle traduit une réalité constatable sur le terrain. Le même type de situation se retrouve dans la région des Vosges saônoises pour la présente étude ; elle s'explique d'ailleurs de la même façon c'est-à-dire l'existence de poches de sables dans des sols à dominante limoneuse. La transition n'est alors pas graduelle mais bel et bien tranchée. Il a donc été jugé préférable de laisser cette classe moyenne guidée par la dominance argileuse et de respecter strictement les critères du guide PROSOL (Pischedda *et al.*, 2009), ce qui permet également, en uniformisant les protocoles, une comparaison plus aisée d'une région à l'autre.

### 3.1.1.3. Bilan

Au final, au niveau de la Franche-Comté, il est possible de distinguer trois grands groupes de régions, ce qu'illustre très bien le tableau 4 et la figure 11 ci-après.

Ainsi, pour le premier groupe, les zones les plus sensibles regroupent les zones alluviales et les grandes plaines d'inondations : les vallées de l'Ognon et de la Lanterne ainsi que les plaines de Saône, de Bresse et la dépression périvosgienne. S'ajoutent à ce groupe quelques régions particulières, à savoir le Sundgau et les massifs de la Serre et de Chaux.

Ce premier groupe se caractérise par des sols très limoneux et à engorgement temporaire, peu profond, fréquent. Ceci explique la sensibilité aux tassements de ces zones dont plus de 80 % du territoire est classé en classe "Forte" de sensibilité.

Le deuxième groupe est constitué des deux régions du massif vosgien : les Vosges saônoises et le plateau des Mille Étangs. Ce groupe se caractérise par des sols soit fortement sensibles (~ 80 %) soit pas sensibles du tout (~ 20 %), la classe intermédiaire étant inexistante à négligeable.

Ceci peut *a priori* paraître surprenant mais s'explique par la juxtaposition de sols soit sableux soit limoneux et la très faible part d'argile sur ces régions.

Quant au troisième groupe, il correspond à l'ensemble des régions à géologie calcaire : le massif de Lomont, les plateaux calcaires hauts-saônois, les Avant-monts, les premier et deuxième plateaux du Doubs et du Jura, les pentes intermédiaires, la Petite Montagne et le haut Jura.

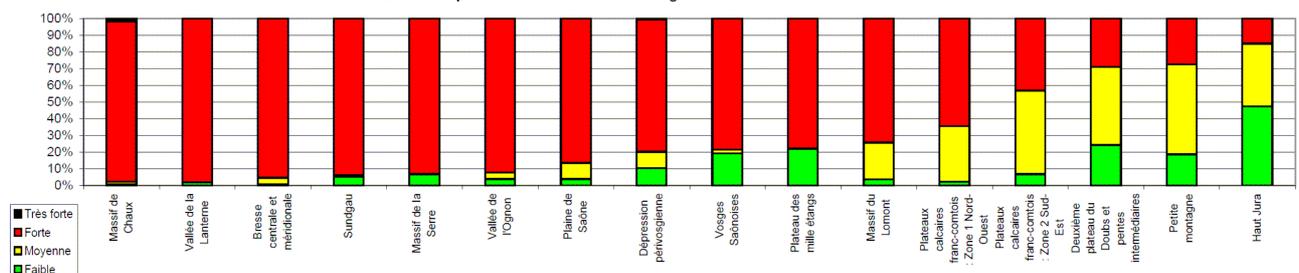
Ce groupe se distingue par l'importance relative des zones moyennement à peu sensibles en raison de la dominante argileuse des sols et l'abondance des éléments grossiers.

Au sein de ce groupe, il est quand même possible d'établir quelques distinctions. Ainsi le massif de Lomont et les plateaux calcaires hauts-saônois (Zone 1 Nord-Ouest) restent plus sensibles que le reste des autres plateaux calcaires car les dépôts éoliens limoneux y sont importants. Quant au haut Jura, il se distingue lui du reste du groupe par sa forte part de sols peu sensibles, environ 50 %, ce qui traduit bel et bien la réalité du terrain où la superficialité des sols est connue et fréquente.

**Tableau 4 : Classement des régions d'application des catalogues de stations forestières en fonction de leurs sensibilités aux tassements.**

|            | Massif de Chaux | Vallée de la Lanterne | Bresse centrale et méridionale | Sundgau | Massif de la Serre | Vallée de l'Ognon | Plaine de Saône | Dépression périvosgienne | Vosges Saônoises | Plateau des mille étangs | Massif du Lomont | Plateaux calcaires franc-comtois : Zone 1 Nord-Ouest | Plateaux calcaires franc-comtois : Zone 2 Sud-Est | Deuxième plateau du Doubs et pentes intermédiaires | Petite montagne | Haut Jura |
|------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|---------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|--|---|--|-----------------|-----------|
| Faible     | 0,60%           | 1,87%                 | 0,77%                          | 5,43%   | 6,84%              | 3,88%             | 3,90%           | 10,60%                   | 19,30%           | 22,12%                   | 3,85%            | 2,34%  | 6,97%   | 24,24%   | 18,66%          | 47,31%    |
| Moyenne    | 1,74%           | 0,00%                 | 3,90%                          | 0,77%   | 0,00%              | 3,94%             | 9,61%           | 9,66%                    | 2,09%            | 0,00%                    | 21,94%           | 33,26%   | 49,93%  | 46,89%   | 53,95%          | 37,65%    |
| Forte      | 95,83%          | 98,13%                | 95,33%                         | 93,80%  | 93,16%             | 92,18%            | 86,46%          | 79,24%                   | 78,61%           | 77,88%                   | 74,21%           | 64,40%   | 43,04%  | 28,87%   | 27,31%          | 15,05%    |
| Très forte | 1,83%           | 0,00%                 | 0,00%                          | 0,00%   | 0,00%              | 0,00%             | 0,03%           | 0,60%                    | 0,00%            | 0,00%                    | 0,00%            | 0,00%  | 0,07%   | 0,00%  | 0,08%           | 0,00%     |

Etude comparative de la sensibilité des régions forestières vis-à-vis des tassements des sols.

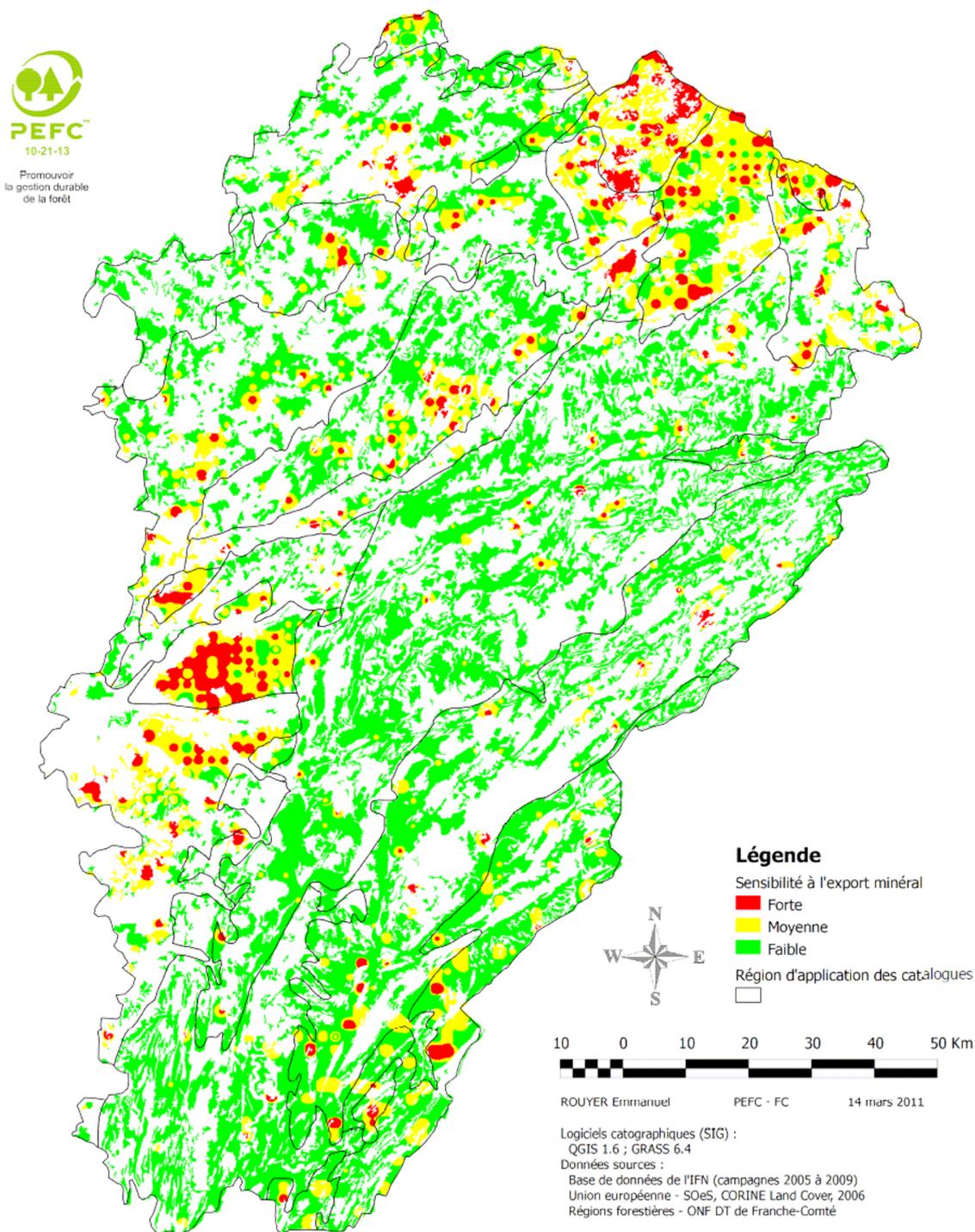


**Figure 11 : Graphique comparatif de la sensibilité aux tassements de chaque région d'application des catalogues de stations forestières.**

### 3.1.2. Sensibilité chimique à l'exportation minérale

La carte suivante illustre la sensibilité des sols forestiers de Franche-Comté.

## Cartographie de la sensibilité des sols forestiers à l'export minéral



**Carte 5 : Carte de la sensibilité des sols forestiers franc-comtois à l'exportation minérale (déclinaison régionale du guide ADEME).**

#### 3.1.2.1. Les commentaires des professionnels sur la carte

Les principales remarques émises par les professionnels sur l'utilisation de ces cartes ont été résumées pour chaque région dans les paragraphes suivants.

### Vallée de l'Ognon

Cette région de vallée cernée de part et d'autre par des plateaux calcaires bénéficie d'une situation assez favorable d'un point de vue chimique. Néanmoins, la zone présente quelques stations plus acides. Notons que dans sa partie nord-est, des zones de la vallée de l'Ognon à sensibilité plus élevées et assez étendues ne ressortent pas de cette carte.

### Plaine de Saône

Région relativement riche et fertile, certaines zones, présentant des profondeurs de limons importantes, sont à l'origine d'une sensibilité à l'exportation minérale moyenne, comme semble l'illustrer la carte.

### Bresse centrale et méridionale

La sensibilité à l'exportation minérale y est parfois assez importante en raison de l'acidité liée à la profondeur parfois importante de la couche limoneuse. Cette région se détache d'ailleurs assez bien des autres régions sur la carte.

### Massif de Chaux

Ce massif est reconnu pour son acidité liée à la surexploitation des taillis pendant la période de la révolution industrielle. La surconsommation de bois destinée à la saline royale, aux verreries, poteries et autres industries lourdes ont aggravé l'appauvrissement de sols forestiers déjà très pauvres à l'origine. La carte reflète bien la situation puisque le massif contraste avec les régions adjacentes. En outre, certaines des personnes consultées ont fait état d'une acidité moindre à l'Est qu'à l'Ouest ce qui ressort assez bien dans les résultats cartographiques.

### Plateau des Mille Étangs

Inscrite au cœur des Vosges saônoises, cette zone présente une acidité importante et donc une sensibilité forte vis-à-vis de l'exportation minérale. La carte est donc bien en conformité avec les observations issues du terrain.

### Vosges saônoises

Comme l'ensemble du massif vosgien, la géologie des Vosges saônoises est cristalline engendrant des sols pauvres en éléments minéraux. Il est donc reconnu que cette région est sensible à l'exportation excessive des produits ligneux aggravant l'acidité des sols. La carte en illustre bien la situation.

### Dépression périvosgienne

À l'image de la plaine de Saône, cette région est relativement riche mais peut, par endroit, présenter des couvertures limoneuses importantes à l'origine d'une acidité assez prononcée de certaines zones.

### Plateaux calcaires Zone 1 : Avant-monts occidentaux et plateaux calcaires hauts-saônois

Cette région de plateaux calcaires présente bien évidemment des sols riches. Cependant, les plateaux hauts-saônois ont par endroit une couverture de limons désaturés d'origine éolienne très importante à l'origine de sols très acides. Il est ainsi possible de trouver des zones à callune et fougère aigle, notamment dans la partie Sud. Il semble donc que la carte fasse assez bien ressortir cette caractéristique.

### Plateaux calcaires Zone 2 : Avant-monts orientaux et premiers plateaux du Doubs et du Jura

Assise sur une géologie calcaire, cette région n'est pas problématique quant à la richesse chimique des sols forestiers, comme le traduit bien les résultats de la carte.

### Deuxième plateau du Doubs et pentes intermédiaires

De la même manière que pour les premiers plateaux du Doubs, le deuxième plateau du Doubs et les pentes intermédiaires sont des zones connues pour la richesse chimique de leur sols.

### Sundgau

La dominante limoneuse de cette région engendre parfois des sols dont l'acidité y est parfois modérée à forte, d'où une mosaïque de zones pas sensibles à très sensibles à l'exportation minérale.

### Massif de Lomont

Inclus au sein des premiers plateaux du Doubs, les constats y sont similaires, les sols y sont riches.

#### Massif de la Serre

Témoin de l'époque hercynienne, il s'agit du seul grand affleurement du socle cristallin dans le Jura. Ses sols forestiers y sont acides d'où la sensibilité forte à l'exportation minérale retranscrite sur la carte.

#### Petite Montagne

Comme pour les plateaux calcaires du Doubs et les pentes intermédiaires, la richesse chimique des sols y est avérée.

#### Haut Jura

Là encore, le socle calcaire sur lequel repose les sols forestiers est à l'origine de sols riches. Cependant, certains sols sont parfois très superficiels, ce qui peut les rendre plus sensibles non seulement à l'érosion mais peut-être également à l'appauvrissement chimique. En outre, située en altitude, cette région jouit d'un climat rude engendrant une saison de végétation courte. Couplée à la dominance de peuplements résineux à litière acidifiante, l'humification est ralentie et peut-être s'avérer aller à l'encontre des possibilités d'exportation minérale, d'autant plus si les sols sont superficiels. Sans en être certain, il s'agit de l'explication avancée pour expliquer la variabilité de sensibilité présentée par les résultats cartographiques.

Dans l'ensemble, cette carte de sensibilité des sols forestiers à l'exportation minérale semble relativement cohérente pour l'ensemble des personnes consultées.

Au sein d'une région franc-comtoise reposant majoritairement sur une géologie calcaire, il est somme toute assez logique de se retrouver avec des sols dans l'ensemble riches et donc peu sensibles vis-à-vis de l'exportation minérale. Cependant les zones connues pour leur acidité ressortent bien et contraste bien avec le reste de la carte.

#### *3.1.2.2. Discussion*

L'obtention de cette cartographie de sensibilité des sols forestiers à l'exportation minérale aurait également pu se baser sur la cartographie prédictive des pH des sols forestiers produite par le laboratoire d'étude des ressources forêt-bois (LERFOB) d'AgroParisTech-ENGREF et de l'IFN (2008). Établie grâce au caractère bioindicateur de la flore spontanée, cette carte n'a pu être utilisée en raison de son coût. Cependant par comparaison visuelle, les résultats obtenus pour notre étude semblent bel et bien être en adéquation avec la cartographie sus-mentionnée.

Quant à l'hypothèse que les sols superficiels sont plus sensibles à l'appauvrissement chimique, elle a également été soutenue par Jabiol *et al.* (2000). Ceci semble donc bel et bien expliquer la situation que l'on rencontre dans le haut Jura. Certes les sols sont incontestablement riches mais leur caractère superficiel marqué par endroits et le climat rude de la région leur confère une sensibilité accrue.

#### *3.1.2.3. Bilan*

À l'instar des conclusions faites pour la sensibilité aux tassements, il est là encore possible de regrouper les différentes régions en trois groupes. Se référer au tableau 5 et à la figure 12 ci-après.

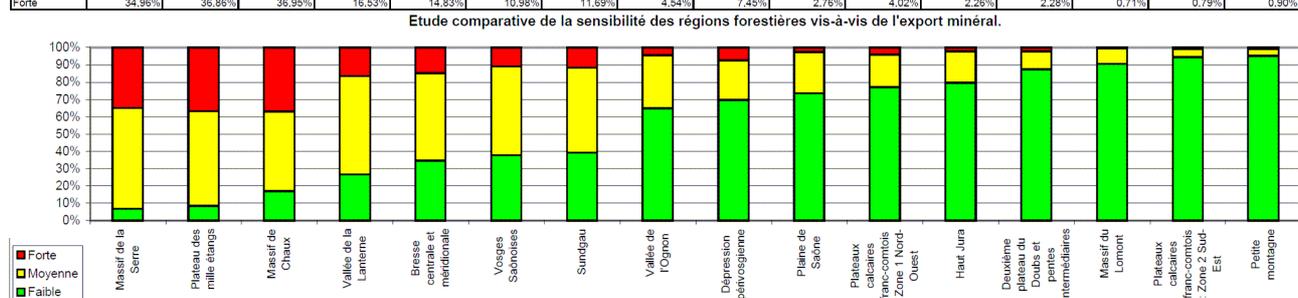
Le premier groupe est constitué du massif de la Serre, du plateau des mille étangs et du massif de Chaux. Cette association correspond à des régions dont les sols fortement et moyennement sensibles représentent respectivement un tiers et la moitié de la surface de ces régions. Ceci n'est pas étonnant pour ces zones connues pour leur pauvreté minérale quelques fois aggravée par l'exploitation parfois excessive des bois.

Quant au deuxième groupe, il comprend la vallée de la Lanterne, la Bresse, les Vosges saônoises et le Sundgau. Les sols fortement et moyennement sensibles correspondent respectivement à environ 15 et 50 % de la surface forestière ; les sols faiblement sensibles représentant en gros un tiers de la surface. Ces régions présentent donc un potentiel notable d'exploitation des menus bois mais exploitation doit y être précautionneuse pour éviter tout problème de tassements.

Le reste des régions constitue le troisième groupe. La part des sols très sensibles aux exportations minérales est très faible, moins de 5 % ; quant aux sols moyennement sensibles, il s'étendent sur environ 15 % de la surface. Ces régions, englobant bien évidemment l'ensemble des plateaux calcaires, sont donc semble-t-il propices à l'exploitation des menus bois en vue d'une valorisation énergétique de cette ressource.

**Tableau 5 : Classement des régions d'application des catalogues de stations forestières en fonction de leurs sensibilités aux exportations minérales.**

|         | Massif de la Serre | Plateau des mille étangs | Massif de Chaux | Vallée de la Lanterne | Bresse centrale et méridionale | Vosges Saboises | Sundgau | Vallée de l'Ognon | Dépression peivossienne | Plaine de Saône | Plateaux calcaires franc-comtois : Zone 1 Nord-Ouest | Haut Jura | Deuxième plateau du Doubs et pentes intermédiaires | Massif du Lomont | Plateaux calcaires franc-comtois : Zone 2 Sud-Est | Petite montagne |
|---------|--------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|---------|-------------------|-------------------------|-----------------|--|-----------|--|------------------|---|-----------------|
| Faible  | 6,82%              | 8,43%                    | 16,91%          | 26,71%                | 34,46%                         | 37,71%          | 39,26%  | 64,93%            | 69,70%                  | 73,43%          | 76,96%   | 79,52%    | 87,23%   | 90,57%           | 94,35%  | 95,14%          |
| Moyenne | 58,22%             | 54,71%                   | 46,14%          | 56,76%                | 50,72%                         | 51,31%          | 49,04%  | 30,53%            | 22,85%                  | 23,81%          | 19,02%   | 18,22%    | 10,49%   | 8,72%            | 4,86%   | 3,97%           |
| Forte   | 34,96%             | 36,86%                   | 36,95%          | 16,53%                | 14,83%                         | 10,98%          | 11,69%  | 4,54%             | 7,45%                   | 2,76%           | 4,02%  | 2,26%     | 2,28%  | 0,71%            | 0,79%   | 0,90%           |



**Figure 12 : Graphique comparatif de la sensibilité aux exportations minérales de chaque région d'application des catalogues de stations forestières.**

### 3.1.3. Croisement de la sensibilité chimique à l'exportation minérale et de la sensibilité physique aux tassements

Pour conclure l'approche cartographique de la problématique, il convient de recouper les deux cartes de sensibilité. Le résultat obtenu nous est présentée par la carte 6 est synthétisé dans le tableau 6 ci-après.

**Tableau 6 : Tableau de synthèse des sensibilités physiques et chimiques des sols forestiers francs-comtois (729 612 ha au total).**

|                            |            | Sensibilité aux exportations minérales |         |        | Total    |
|----------------------------|------------|--|---------|--------|----------|
|                            |            | Faible                                 | Moyenne | Forte  |          |
| Sensibilité aux tassements | Faible     | 9,55 %                                 | 3,27 %  | 1,47 % | 14,29 %  |
|                            | Moyenne    | 30,71 %                                | 0,58 %  | 0,10 % | 31,39 %  |
|                            | Forte      | 33,23 %                                | 16,53 % | 4,43 % | 54,20 %  |
|                            | Très forte | 0,02 %                                 | 0,09 %  | 0,02 % | 0,12 %   |
|                            | Total      | 73,51 %                                | 20,47 % | 6,03 % | 100,00 % |

Au final, en ne considérant que la sensibilité aux exportations minérales, la Franche-Comté figure parmi les régions pour lesquelles le potentiel de valorisation de bois-énergie est très élevé. En effet, près des trois quarts de sa surface forestière sont suffisamment riches chimiquement pour envisager sereinement une exploitation des menus bois. À cela se rajoute 20 % de la surface, certes moyennement sensibles mais pour lesquels il est néanmoins possible d'envisager des récoltes de menus bois.

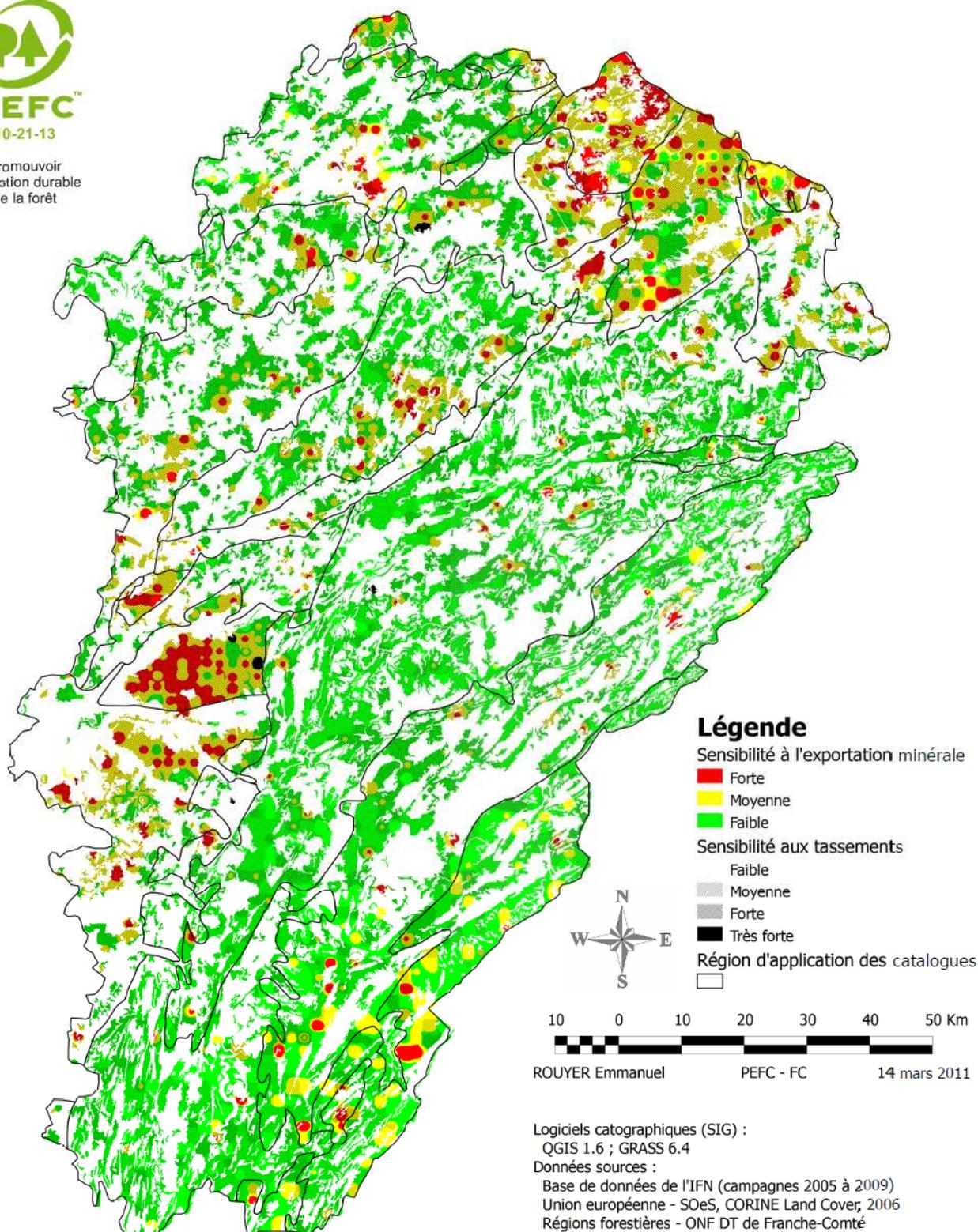
Néanmoins, cette exploitation ne doit pas aller à l'encontre de la préservation des sols dont on s'aperçoit que plus de la moitié d'entre eux sont fortement sujets à des risques de dégradations importantes.

Au final, 40 % de la surface forestière franc-comtoise peut faire l'objet d'une exploitation sans grandes contraintes (les plateaux calcaires du massif montagneux jurassien) ; à laquelle s'additionne 50 % de la surface pour laquelle l'extraction des menus bois est envisageable mais en prenant garde à respecter l'intégrité des sols par l'adaptation des méthodes et périodes de débardage (plateaux calcaires de Haute Saône et les plaines et vallées alluviales). Seuls 10 % des sols semblent s'opposer à cette intensification de la valorisation des menus bois, parmi lesquels les sols du massif montagneux des Vosges et des massifs forestiers de la Serre et de Chaux tiennent une bonne place.

# Cartographie de la sensibilité des sols forestiers à l'intensification de l'exploitation pour le bois-énergie



Promouvoir  
la gçation durable  
de la forêt



Carte 6 : Carte de la sensibilité des sols forestiers franc-comtois à l'intensification de l'exploitation dans un objectif de valorisation des menus bois.



Au final, il semble que nous puissions conclure à un regroupement en 19 groupes dont plusieurs comprennent des variantes altitudinales. Le tableau 7 ci-après résume les distinctions retenues.

**Tableau 7 : Tableau de synthèse des groupes stationnels (GS).**

| <b>Guide de recommandations d'exploitation</b> |  |   |   |                                   |
|--|--|---|---|-----------------------------------|
| <b>GS</b>                                      | <b>Dénomination</b>  | <b>Variante</b>                                     | <b>Sensibilité à l'exportation minérale</b> | <b>Sensibilité aux tassements</b> |
| 1  | Saulaie ripicole neutrophile                                 |   | Faible                                      | Moyenne                           |
| 2  | Frênaie-chênaie-ormaie neutrophile des plaines alluviales    |   | Faible                                      | Moyenne                           |
| 3.1  | Forêts acidiphiles marécageuse                               | Aulnaie-saulaie acidiphile marécageuse              | Forte                                       | Très forte                        |
| 3.2  |  | Pessière marécageuse                                |   |                                   |
| 4  | Aulnaie-frênaie-éablaie neutrophile des bords de cours d'eau |   | Faible                                      | Forte                             |
| 5  | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon                |   | Faible                                      | Forte                             |
| 6.1  | Forêts acidiphiles hydromorphes                              | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe  | Forte                                       | Forte                             |
| 6.2  |  | Hêtraie-sapinière acidiphile hydromorphe            |   |                                   |
| 7.1  | Forêts acidiclinales hydromorphes                            | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe  | Moyenne                                     | Forte                             |
| 7.2  |  | Hêtraie-sapinière acidiphile hydromorphe            |   |                                   |
| 8.1  | Forêts neutrophiles hydromorphes                             | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe | Faible                                      | Forte                             |
| 8.2  |  | Hêtraie-sapinière neutrophile hydromorphe           |   |                                   |
| 9  | Forêts neutrophiles sur éboulis                              |   | Faible                                      | Faible                            |
| 10.1   | Forêts acidiphiles sur sols superficiels                     | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sols superficiels    | Forte                                       | Faible                            |
| 10.2   |  | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sols superficiels  |   |                                   |
| 11.1   | Forêts acidiclinales sur sols superficiels                   | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sols superficiels    | Moyenne                                     | Faible                            |
| 11.2   |  | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sols superficiels  |   |                                   |
| 12.1   | Forêts neutrophiles sur sols superficiels                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sols superficiels   | Faible                                      | Faible                            |
| 12.2   |  | Hêtraie-sapinière neutrophile sur sols superficiels |   |                                   |
| 13.1   | Forêts acidiphiles sur limons                                | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons      | Forte                                       | Forte                             |
| 13.2   |  | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons             |   |                                   |
| 14.1   | Forêts acidiclinales sur limons                              | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons      | Moyenne                                     | Forte                             |
| 14.2   |  | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons             |   |                                   |
| 15.1   | Forêts neutrophiles sur limons                               | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons     | Faible                                      | Forte                             |
| 15.2   |  | Hêtraie-sapinière neutrophile sur limons            |   |                                   |
| 16.1   | Forêts acidiphiles sur sols sables                           | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables               | Forte                                       | Faible                            |
| 16.2   |  | Sapinière-hêtraie acidiphile sur sables             |   |                                   |
| 17.1   | Forêts acidiclinales sur sols sables                         | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables               | Moyenne                                     | Faible                            |
| 17.2   |  | Sapinière-hêtraie acidiphile sur sables             |   |                                   |
| 18.1   | Forêts acidiclinales sur argiles                             | Chênaie-hêtraie-charmaie acidiphile sur argiles     | Moyenne                                     | Moyenne                           |
| 18.2   |  | Hêtraie-sapinière acidiphile sur argiles            |   |                                   |
| 19.1   | Forêts neutrophiles sur argiles                              | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur argiles    | Faible                                      | Moyenne                           |
| 19.2   |  | Hêtraie-sapinière neutrophile sur argiles           |   |                                   |

### 3.2.2.1. Les regroupements de station

Pour chaque région disposant d'un catalogue de stations forestières, il a été établi une correspondance entre la station, son groupe stationnel (GS) du guide de recommandations d'exploitation et, le cas échéant, son unité stationnelle du guide de choix des essences.

Sont ainsi décrits ci-après les correspondances entre ces différents groupes pour chaque région d'application d'un catalogue de stations forestières.

#### Dépression périvosgienne et vallée de la Lanterne

| Guide de choix des essences |              | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|--------------|---|---|----------|
| US                          | Dénomination | GS                                      | Dénomination  | n°       |
|                             |              | 2                                       | Frênaie-chênaie-ormaie neutrophile des plaines alluviales   | 4.1.8    |
|                             |              | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 4.1.6    |
|                             |              | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 4.2.3    |
|                             |              |   |   | 4.2.4    |
|                             |              | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 2.2.3    |
|                             |              |   |   | 2.4.2    |
|                             |              |   |   | 4.1.5    |
|                             |              | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 4.1.5    |
|                             |              |   |   | 4.1.1    |
|                             |              |   |   | 4.1.2    |
|                             |              |   |   | 4.1.3    |
|                             |              |   |   | 1.2.3    |
|                             |              | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 3.2.1    |
|                             |              |   |   | 3.2.2    |
|                             |              |   |   | 4.1.4    |
|                             |              |   |   | 4.2.1    |
|                             |              |   |   | 1.2.4    |
|                             |              |   |   | 2.2.1    |
|                             |              | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         | 2.2.2    |
|                             |              |   |   | 2.3.1    |
|                             |              |   |   | 4.1.7    |
|                             |              |   |   | 4.2.2    |
|                             |              |   |   | 1.1.2    |
|                             |              | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 1.1.3    |
|                             |              |   |   | 1.2.1    |
|                             |              |   |   | 3.1.1    |
|                             |              |   |   | 1.1.4    |
|                             |              | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 1.2.2    |
|                             |              |   |   | 3.1.2    |
|                             |              | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 3.2.3    |
|                             |              | 16.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       | 1.1.1    |
|                             |              |   |   | 1.1.2    |
|                             |              | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidiphile sur marnes ou argiles   | 2.1.1    |
|                             |              |   |   | 2.1.2    |
|                             |              |   |   | 2.1.3    |
|                             |              |   |   | 2.1.4    |
|                             |              | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 2.3.2    |
|                             |              |   |   | 2.4.1    |
|                             |              |   |   | 2.4.1    |
|                             |              |   |   | 1        |
|                             |              | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 11       |
|                             |              |   |   | 2        |
|                             |              | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 3        |
|                             |              | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 10       |
|                             |              |   |   | 8        |
|                             |              | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 12       |
|                             |              |   |   | 9        |
|                             |              | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 6        |
|                             |              | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 4        |
|                             |              |   |   | 5        |
|                             |              | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 7        |

**Tableau 8 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la dépression périvosgienne et de la vallée de la Lanterne (deuxième partie du tableau).**

### Vallée de l'Ognon

| Guide de choix des essences |   | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|---|---|---|----------|
| US                          | Dénomination  | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| 1                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur marnes et marno-calcaires  | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidiphile sur marnes ou argiles   | M1       |
| 2                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur alluvions anciennes recouvertes de limons assez riches en éléments nutritifs | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | T10      |
| 3                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur alluvions anciennes recouvertes de limons et limons sableux assez pauvres    | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | T11      |
| 4                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur alluvions anciennes recouvertes de limons et limons sableux pauvres et       | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | T3       |
| 5                           | Hêtraie-chênaie-boulaie sur alluvions anciennes recouvertes de matériaux très pauvres et acides           | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | T4       |
| 6                           | Chênaie pédonculée-charmaie sur sols assez riches en éléments nutritifs                                   | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | T9       |
| 7                           | Chênaie pédonculée-boulaie à molinie sur sols pauvres en éléments nutritifs                               | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | T2       |
| 8                           | Chênaie pédonculée-frênaie-ormaie alluviale   | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | T1       |
| 9                           | Frênaie-aulnaie   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | T5       |
| 10                          | Aulnaie sur sols très engorgés  | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         | T12      |
| 11                          | Saulaie alluviale arborescente  | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | T13      |
|                             |   |   |   | T14      |
|                             |   |   |   | T6       |
|                             |   |   |   | T8       |
|                             |   |   |   | A4       |
|                             |   | 2                                       | Frênaie-chênaie-ormaie neutrophile des plaines alluviales   | A5       |
|                             |   |   |   | A6       |
|                             |   |   |   | A7       |
|                             |   | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | A2       |
|                             |   |   |   | A3       |
|                             |   | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | A1       |
|                             |   |   |   | T7       |
|                             |   | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | 7000VS   |

**Tableau 9 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la vallée de l'Ognon.**

## Plaine de Saône

| Guide de choix des essences |  | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations                     |
|-----------------------------|--|---|---|------------------------------|
| US                          | Dénomination   | GS                                      | Dénomination  | n°                           |
| 1                           | Hêtraie-chênaie sessiliflore sur sables nettement acides, très pauvres en éléments nutritifs | 16.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       | 1122                         |
| 2                           | Hêtraie-chênaie sur sables modérément acides, pauvres en éléments nutritifs                  | 17.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiline sur sables                        | 1123                         |
|                             |  | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 1151<br>1152<br>1153<br>1113 |
| 3                           | Hêtraie-chênaie sur limons modérément acides pauvres en éléments nutritifs                   | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiline sur limons               | 1113<br>1154<br>1114         |
| 4                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur limons ou sables peu acides, assez riches en éléments nutritifs | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 1115<br>1124<br>1140         |
| 5                           | Chênaie-charmaie sur marnes et argiles   | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 1130                         |
| 6                           | Chênaie pédonculée à molinie et sphaignes sur sols longuement engorgés et très appauvris     |   |   | 2103c<br>2121                |
| 7                           | Chênaie-boulaie à molinie sur sols engorgés pauvres en éléments nutritifs                    | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 2103a<br>2103b<br>2210       |
| 8                           | Chênaie pédonculée à crin végétal, sur sols engorgés, modérément appauvris                   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiline hydromorphe           | 2114<br>3210                 |
| 9                           | Chênaie pédonculées-frênaies de fond de vallons  | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 3230<br>4200<br>3310         |
| 10                          | Chênaies pédonculées-charmaies de basses terrasses   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiline hydromorphe           | 3320                         |
|                             |  | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         | 3330<br>4410                 |
| 11                          | Frênaie-chênaie-ormaies des plaines alluviales   | 2                                       | Frênaie-chênaie-ormaie neutrophile des plaines alluviales   | 4420<br>4430                 |
| 12                          | Frênaie-aulnaie  | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 5000<br>6000                 |
| 13                          | Aulnaie marécageuse  | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 6100<br>6204<br>6205         |
| 14                          | Saulaie blanche ripicole   | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | 7000                         |

**Tableau 10 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la plaine de Saône.**

## Massif de la Serre

Ce massif forestier n'est pas doté de catalogue de stations forestières. Assise sur une géologie cristalline, vestige du massif hercynien, cette région se rapproche le plus de la région des Vosges cristallines.

## Bresse centrale et méridionale

| Guide de choix des essences |              | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations                               |
|-----------------------------|--------------|---|---|--|
| US                          | Dénomination | GS                                      | Dénomination  | n°                                     |
|                             |              | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | 112                                    |
|                             |              | 2                                       | Frênaie-chênaie-ormaie neutrophile des plaines alluviales   | 111                                    |
|                             |              | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 121                                    |
|                             |              | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 122<br>123<br>124                      |
|                             |              | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 125<br>126<br>244<br>246               |
|                             |              | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 266<br>268<br>269<br>267<br>213<br>242 |
|                             |              | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiline hydromorphe           | 262<br>263<br>264<br>265<br>212        |
|                             |              | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         | 252<br>261                             |
|                             |              | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiline sur limons               | 231                                    |
|                             |              | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 241                                    |
|                             |              | 16.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       | 222<br>245                             |
|                             |              | 17.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiline sur sables                        | 221<br>243                             |
|                             |              | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 211<br>223<br>251                      |

**Tableau 11 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la Bresse centrale et méridionale.**

## Massif de Chaux

| Guide de choix des essences |              | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|--------------|---|---|----------|
| US                          | Dénomination | GS                                      | Dénomination  | n°       |
|                             |              |   |   | 401.1    |
|                             |              |   |   | 401.2    |
|                             |              | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 402.1    |
|                             |              |   |   | 404.2    |
|                             |              |   |   | 521      |
|                             |              |   |   | 121.1    |
|                             |              |   |   | 121.2    |
|                             |              |   |   | 121.3    |
|                             |              |   |   | 220      |
|                             |              | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 221.1    |
|                             |              |   |   | 221.2    |
|                             |              |   |   | 402.2    |
|                             |              |   |   | 403      |
|                             |              |   |   | 404.1    |
|                             |              |   |   | 522      |
|                             |              |   |   | 2b21     |
|                             |              |   |   | 2b22     |
|                             |              | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 511.1    |
|                             |              |   |   | 511.2    |
|                             |              |   |   | 523      |
|                             |              |   |   | 111.1    |
|                             |              |   |   | 111.2    |
|                             |              |   |   | 222.1    |
|                             |              |   |   | 222.2    |
|                             |              |   |   | 122.1    |
|                             |              |   |   | 122.2    |
|                             |              |   |   | 112.11   |
|                             |              | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 112.12   |
|                             |              |   |   | 112.21   |
|                             |              |   |   | 112.22   |
|                             |              |   |   | 113.1    |
|                             |              |   |   | 123.1    |
|                             |              |   |   | 123.2    |
|                             |              |   |   | 124.1    |
|                             |              |   |   | 124.2    |
|                             |              |   |   | 223      |
|                             |              | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          | 125      |
|                             |              | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | 311      |
|                             |              |   |   | 312      |
|                             |              | 11.1                                    | Hêtraie-chênaie acidophile sur sol superficiel              | 313      |
|                             |              |   |   | 224.1    |
|                             |              |   |   | 314.1    |
|                             |              |   |   | 314.2    |
|                             |              | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 611.1    |
|                             |              |   |   | 611.2    |
|                             |              |   |   | 621      |
|                             |              |   |   | 113.2    |
|                             |              |   |   | 211.1    |
|                             |              |   |   | 211.2    |
|                             |              | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | 224.21   |
|                             |              |   |   | 224.22   |
|                             |              |   |   | 711      |
|                             |              | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 224.23   |
|                             |              |   |   | 721      |
|                             |              |   |   | 524      |
|                             |              | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 712.5    |
|                             |              |   |   | 712.6    |

Tableau 12 : Tableau de synthèse des regroupements de stations du massif de Chaux.

### Sundgau

| Guide de choix des essences |  | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|--|---|---|----------|
| US                          | Dénomination   | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| S1                          | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile, sur sol moyennement profond              | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | A        |
| S2                          | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile à mésoacidiphile, sur sol moyennement profond à très profond | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | B        |
|                             |  |   |   | D        |
| S3                          | Chênaie-hêtraie acidiphile, sur sol moyennement profond à très profond                           | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C        |
|                             |  |   |   | E        |
| S4                          | Chênaie mixte-charmaie sur sol peu hydromorphe   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          | G        |
|                             |  | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         | F        |
| S5                          | Saulaie ripicole pionnière, sur alluvions  | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | H        |
| S6                          | Forêts de bords de cours d'eau ou de fonds de vallons sur sol plus ou moins bien drainés         | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | I        |
|                             |  |   |   | M        |
| S7                          | Chênaie pédonculée-frênaie   | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | J        |
| S8                          | Forêts de chêne pédonculé et/ou sessile sur sol hydromorphe                                      | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | L        |
|                             |  | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          | K        |
| S9                          | Forêts d'aulne glutineux mésohygrophiles sur sol hydromorphe                                     | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | N        |
|                             |  |   |   | O        |
| S10                         | Forêts marécageuses acidiphiles  | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | P        |
|                             |  | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | Q        |

Tableau 13 : Tableau de synthèse des regroupements de stations du Sundgau.

## Vosges saônoises

| Guide de choix des essences |  | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|--|---|---|----------|
| US                          | Dénomination   | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| V1                          | Forêts marginales sans objectif de production  | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | V.3      |
|                             |  | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | V.1      |
|                             |  | 11.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sol superficiel            | V.2      |
| V2                          | Hêtraie acidiphile sur sol moyennement profond à profond   | 13.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons                     | V.4      |
|                             |  | 16.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sables                     | V.5      |
| V3                          | Hêtraie ou hêtraie-sapinière mésoacidiphile sur sol moyennement profond à profond                                    | 13.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons                     | V.6      |
|                             |  | 16.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sables                     | V.8      |
| V4                          | Hêtraie ou hêtraie-sapinière acidiphile sur sol moyennement profond à profond  | 14.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons                     | V.7      |
|                             |  | 17.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sables                     | V.9      |
| V5                          | Hêtraie-sapinière neutroacidiphile à neutrophile sur sol moyennement profond à profond                               | 14.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons                     | V.10     |
|                             |  | 15.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur limons                    | V.11     |
| V6                          | Hêtraie-chênaie(-charmaie) mésoacidiphile à acidiphile, de bas de versants et de fonds de vallons                    | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | V.12     |
|                             |  |   |   | V.13     |
| V7                          | Forêts de frênes, érables et aulnes glutineux, de bords de petits cours d'eau peu fréquemment inondés                | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | V.14     |
| V8                          | Aulnaie marécageuse  | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | V.15     |
| C1                          | Chênaie sessiliflore hyperacidiphile à acidiphile sur sol superficiel à peu profond                                  | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | C.1      |
|                             |  | 16.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       | C.11     |
| C2                          | Hêtraie-chênaie(-charmaie) acidiphile à mésoacidiphile sur éboulis ou sur sol très caillouteux                       | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | C.12     |
|                             |  |   |   | C.13     |
|                             |  |   |   | C.2      |
| C3                          | Hêtraie-chênaie(-charmaie) acidiphile "doux" sur sol moyennement profond à profond                                   | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.3      |
|                             |  | 17.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       | C.15     |
| C4                          | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoacidiphile sur sol moyennement profond à très profond                                   | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.4      |
|                             |  | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.14     |
|                             |  | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.16     |
| C5                          | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile à neutroacidiphile sur sol profond à très profond                                | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.5      |
|                             |  | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | C.17     |
| C6                          | Hêtraie-chênaie mixte-charmaie neutroacidiphile sur sol moyennement profond  | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | C.6      |
| C7                          | Hêtraie(-chênaie) acidiphile à mésoacidiphile sur sol profond à très profond sur matériaux étanches                  | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidiphile sur marnes ou argiles   | C.7      |
|                             |  |   |   | C.8      |
| C8                          | Hêtraie-chênaie mixte-charmaie acidiphile à neutrophile sur sol moyennement profond à profond sur matériaux étanches | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.9      |
|                             |  | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | C.10     |
| C9                          | Chênaie pédonculée-hêtraie-charmaie mésoacidiphile de dépressions  | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | C.18     |
|                             |  | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidiphile sur marnes ou argiles   | C.19     |
| C10                         | Chênaie pédonculée-charmaie-hêtraie acidiphile à neutrophile de dépressions  | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | C.20     |
|                             |  |   |   | C.21     |
| C11                         | Chênaie pédonculée de fonds de vallons   | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | C.23     |
|                             |  |   |   | C.22     |
| C12                         | Forêts de frênes, érables et aulnes glutineux, de bords de petits cours d'eau peu fréquemment inondés                | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | C.24     |
|                             |  |   |   | C.25     |
| C13                         | Aulnaie marécageuse  | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | C.25     |

Tableau 14 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des Vosges saônoises.

## Plateau des Mille Étangs

| Guide de choix des essences |   | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|---|---|---|----------|
| US                          | Dénomination                                  | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| 1                           | Aulnaie-boulaie                               | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 16       |
|                             |   |   |   | 17       |
| 2                           | Frênaie-érablaie de bord de cours d'eau       | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 14       |
|                             |   |   |   | 15       |
| 3                           | Chênaie pédonculée                            | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          | 18       |
|                             |   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          |          |
| 4                           | Chênaie sessiliflore-hêtraie de haut de pente | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | 2        |
| 5                           | Chênaie-hêtraie-charmaie                      | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 5        |
|                             |   | 17.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       |          |
| 6                           | Hêtraie-chênaie                               | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 4B       |
|                             |   | 17.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       |          |
| 7                           | Hêtraie-chênaie sur sol acide                 | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 3B       |
|                             |   |   |   | 4A       |
|                             |   | 16.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sables                       | 3A       |
| 8                           | Chênaie-hêtraie sur sol superficiel           | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | 1        |
|                             |   |   |   | 8        |
| 9                           | Chênaie sur éboulis acides                    | 10.1                                    | Hêtraie-chênaie acidiphile sur sol superficiel              | 7A       |
|                             |   |   |   | 7B       |
| 10                          | Frênaie-érablaie sur sol riche                | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 7C       |
|                             |   |   |   | 9        |
|                             |   |   |   | 13       |
| 11                          | Hêtraie-sapinière                             | 14.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons                     | 12       |
|                             |   | 17.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sables                     |          |
| 12                          | Hêtraie-sapinière sur sol acide               | 13.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur limons                     | 6        |
|                             |   | 16.2                                    | Hêtraie-sapinière acidiphile sur sables                     | 11       |
|                             |   |   |   | 10       |

Tableau 15 : Tableau de synthèse des regroupements de stations du plateau des Mille Étangs.

## Plateaux calcaires Zone 1 : Avant-monts occidentaux et plateaux calcaires hauts-saônois

| Guide de choix des essences |   | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|---|---|---|----------|
| US                          | Dénomination  | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| 1                           | Chênaie pubescente  | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 10       |
| 2                           | Tillaie-érablaie à scolopendre  | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 12       |
| 3                           | Chênaie-hêtraie-charmaie sèche sur calcaire   | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 1        |
|                             |   |   |   | 11       |
|                             |   |   |   | 15       |
|                             |   |   |   | 2        |
| 4                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur sols modérément profonds sur calcaire ou sur marne drainée | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 3        |
|                             |   |   |   | 11b      |
|                             |   |   |   | 17       |
|                             |   |   |   | 4        |
| 5                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur sol profond sur calcaire ou sur marne drainée              | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidophile sur marnes ou argiles   | 14       |
|                             |   |   |   | 16       |
|                             |   |   |   | 18       |
|                             |   |   |   | 21       |
| 6                           | Chênaie-charmaie sur plateau marneux hydromorphe  | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          | 5        |
|                             |   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          |          |
|                             |   | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         |          |
| 7                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur limons peu acides  | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | 6        |
| 8                           | Hêtraie-chênaie sur limons à chaillies acides   | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | 19       |
|                             |   |   |   | 7        |
| 9                           | Chênaie-hêtraie sur limons à chaillies très acides                                      | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | 20       |
|                             |   |   |   | 8        |
| 10                          | Chênaie-charmaie de fond de doline et de vallon sec                                     | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 9        |
|                             |   |   |   | 13       |
| 11                          | Chênaie pédonculée-frênaie de fond de vallon hydromorphe                                | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 22       |
|                             |   |   |   | 23       |
| 12                          | Frênaie-aulnaie   | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 24       |
|                             |   |   |   | 25       |
| 13                          | Aulnaie marécageuse   | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidophile marécageuse              | 26       |
|                             |   |   |   | 26       |

**Tableau 16 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des plateaux calcaires de la zone 1.**

### Plateaux calcaires Zone 2 : Avant-monts orientaux et premiers plateaux du Doubs et du Jura

| Guide de choix des essences |   | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|---|---|---|----------|
| US                          | Dénomination  | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| 1                           | Forêt claire thermophile de bord de corniche  | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 1        |
|                             |   |   |   | 2        |
|                             |   |   |   | 3        |
|                             |   |   |   | 4        |
| 2                           | Chênaie-hêtraie-charmaie sèche sur calcaire   | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 15       |
|                             |   |   |   | 21       |
|                             |   |   |   | 5        |
|                             |   |   |   | 6        |
| 3                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur sol modérément profond sur calcaire ou sur marne drainée | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 15b      |
|                             |   |   |   | 22       |
|                             |   |   |   | 24       |
|                             |   |   |   | 25       |
| 4                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur sol profond sur calcaire ou sur marne drainée            | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidophile sur marnes ou argiles   | 7        |
|                             |   |   |   | 8        |
|                             |   | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 23       |
|                             |   |   |   | 27       |
| 5                           | Chênaie-charmaie sur plateau marneux hydromorphe                                      | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          | 9        |
|                             |   | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile hydromorphe          |          |
|                             |   | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         |          |
| 6                           | Hêtraie-chênaie-charmaie sur limons peu acides  | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | 10       |
| 7                           | Hêtraie-chênaie sur limons à chaillies acides   | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile sur limons              | 26       |
|                             |   |   |   | 11       |
| 8                           | Tillaie chaude à érable à feuilles d'obier  | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 12       |
| 9                           | Hêtraie-chênaie chaude à lâche blanche et séslerie                                    | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 13       |
|                             |   |   |   | 14       |
| 10                          | Érablaies froides d'éboulis et de ravins  | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 14b      |
|                             |   |   |   | 16       |
| 11                          | Hêtraie froide d'ubac   | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 30       |
|                             |   |   |   | 18       |
| 12                          | Chênaie-charmaie de doline et de vallon sec   | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 19       |
|                             |   |   |   | 20       |
| 13                          | Forêts de fonds de vallons encaissés  | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 17       |
|                             |   |   |   | 28       |
| 14                          | Saulaie ripicole  | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | 33       |
|                             |   |   |   | 32       |
| 15                          | Chênaie pédonculée-frênaie de fond de vallon hydromorphe                              | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 29       |
|                             |   |   |   | 31       |
| 16                          | Aulnaie-frênaie   | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 34       |
|                             |   |   |   | 35       |
| 17                          | Aulnaie marécageuse   | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidophile marécageuse              | 36       |
|                             |   |   |   | 36       |

**Tableau 17 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des plateaux calcaires de la zone 2.**

### Massif de Lomont

Il n'existe pas de catalogue de stations forestières spécifique pour cette région. Il est toutefois possible de se référer aux conclusions établies pour les plateaux calcaires francs-comtois de la zone 2 (premiers plateaux du Doubs et du Jura).

### Deuxième plateau du Doubs et pentes intermédiaires

| Guide de choix des essences |  | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations |
|-----------------------------|--|---|---|----------|
| US                          | Dénomination   | GS                                      | Dénomination  | n°       |
| 1                           | Hêtraie-sapinière sur formations rocheuses affleurantes        | 12.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur sol superficiel           | 1<br>10  |
| 2                           | Formations de bord de corniche                                 | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 2<br>6   |
| 3                           | Hêtraie-sapinière sur sol superficiel                          | 12.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur sol superficiel           | 3<br>20  |
| 4                           | Hêtraie-sapinière sur sol moyennement profond                  | 19.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur marnes ou argiles         | 4<br>21  |
| 5                           | Hêtraie-sapinière sur sol profond                              | 18.2                                    | Hêtraie-sapinière acidocline sur marnes ou argiles          | 5        |
| 6                           | Hêtraie-sapinière sur marne moyennement profonde               | 19.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur marnes ou argiles         | 22<br>25 |
|                             |  | 6.2                                     | Hêtraie-sapinière acidiphile hydromorphe                    | 7        |
| 7                           | Hêtraie-sapinière sur limon                                    | 7.2                                     | Hêtraie-sapinière acidocline hydromorphe                    | 8        |
|                             |  | 8.2                                     | Hêtraie-sapinière neutrophile hydromorphe                   | 9        |
| 8                           | Tillaie-érablaie de versant chaud sur éboulis grossier         | 14.2                                    | Hêtraie-sapinière acidocline sur limons                     | 24       |
|                             |  | 15.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur limons                    | 11       |
| 9                           | Hêtraie chaude sur éboulis fin ou sol très superficiel         | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 12       |
| 10                          | Hêtraie-sapinière de versant chaud sur sol moyennement profond | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 13       |
|                             |  | 12.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur sol superficiel           | 14       |
| 11                          | Forêt de versant froid sur éboulis grossier ou gros blocs      | 19.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur marnes ou argiles         | 15<br>16 |
|                             |  | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 17       |
| 12                          | Forêt de versant froid sur éboulis fin ou sol très superficiel | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 18       |
| 13                          | Hêtraie-sapinière de versant froid sur sol moyennement profond | 12.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur sol superficiel           | 19       |
|                             |  | 19.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur marnes ou argiles         | 27       |
| 14                          | Forêts alluviales  | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | 28<br>29 |
|                             |  | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 30       |
| 15                          | Forêts marécageuses  | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 31       |
| 16                          | Forêts sur tourbe  | 3.2                                     | Pessière marécageuse  | 32       |
| 17                          | Hêtraie-sapinière-pessière à hautes herbes                     | 3.2                                     | Pessière marécageuse  | 26       |

**Tableau 18 : Tableau de synthèse des regroupements de stations des pentes intermédiaires et deuxième plateau du Jura.**

### Petite Montagne

| Guide de choix des essences |              | Guide de recommandations d'exploitation |   | Stations   |
|-----------------------------|--------------|---|---|--|
| US                          | Dénomination | GS                                      | Dénomination  | n°   |
|                             |              | 1                                       | Saulaie ripicole neutrophile                                | 32   |
|                             |              | 3.1                                     | Aulnaie-boulaie-saulaie acidiphile marécageuse              | 36   |
|                             |              | 4                                       | Aulnaie-frênaie-érablaie neutrophile de bord de cours d'eau | 33<br>35   |
|                             |              |   |   | 29   |
|                             |              | 5                                       | Chênaie-frênaie neutrophile de fond de vallon               | 31<br>34   |
|                             |              | 6.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile hydromorphe          |  |
|                             |              | 7.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie acidocline hydromorphe          | 9  |
|                             |              | 8.1                                     | Chênaie pédonculée-charmaie neutrophile hydromorphe         | 13<br>14b<br>16<br>18<br>19<br>20<br>30<br>D<br>E<br>Z2-12           |
|                             |              | 9                                       | Forêt neutrophile sur éboulis                               | 19<br>20<br>30<br>D<br>E<br>Z2-12                                    |
|                             |              | 11.1                                    | Hêtraie-chênaie acidocline sur sol superficiel              | A<br>1<br>2<br>3   |
|                             |              | 12.1                                    | Hêtraie-chênaie neutrophile sur sol superficiel             | 4<br>15<br>21  |
|                             |              | 12.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur sol superficiel           | Z2-13<br>Z2-20   |
|                             |              | 13.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile sur limons              | 11<br>12<br>H  |
|                             |              | 14.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie acidocline sur limons              | 10<br>26<br>I  |
|                             |              | 15.1                                    | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile sur limons             | 17<br>28<br>J  |
|                             |              | 18.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie acidocline sur marnes ou argiles   | 7<br>8<br>5<br>6<br>15b<br>22<br>23<br>24<br>25<br>27<br>B<br>C<br>F |
|                             |              | 19.1                                    | Chênaie-hêtraie-charmaie neutrophile sur marnes ou argiles  | 24<br>25<br>27<br>B<br>C<br>F  |
|                             |              | 19.2                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile sur marnes ou argiles         | 6  |

**Tableau 19 : Tableau de synthèse des regroupements de stations de la Petite Montagne.**

### Haut Jura

Le haut Jura n'étant pas non plus couvert par un catalogue de stations forestières, la région qui s'en rapproche le plus est la région du deuxième plateau du Jura.

En croisant chacun de ces tableaux avec le tableau 7, il est ainsi possible de déterminer pour chaque station leurs sensibilités à l'exportation minérale ainsi qu'aux tassements, résultat repris par le tableau de synthèse disponible en annexe 3.

#### *3.2.2.2. Discussion*

Pour juger de leur validité, ces regroupements ont été soumis aux membres du comité de pilotage ainsi qu'à des personnes reconnus pour leurs connaissances en la matière, telle Mme BEAUFILS qui a réalisé bon nombre des catalogues de stations forestières de Franche-Comté.

Ce classement a également été présenté lors d'une journée de tests réunissant les principaux acteurs concernés par la gestion des milieux forestiers. Les personnes ayant participé à cette journée organisée le 6 juin 2011, dans les forêts périphériques de Dole (39) sont listées ci-après :

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Patrick LÉCHINE     | CRPF                           |
| François JANEX      | CRPF                           |
| Dominique ABT       | ONF                            |
| Michel OUDET        | ONF                            |
| Éric MARTIGÈNE      | ONF                            |
| Eike WILMSMEIER     | ONF                            |
| Jean-François CERF  | ONF                            |
| Laurence LEBRET     | FBE                            |
| Stéphane POUCHOULOU | Coforêt                        |
| Stéphane LEFÈVRE    | PEFC Franche-Comté             |
| Sabine LEFÈVRE      | Chambre d'agriculture du Doubs |
| Thomas LEPLAIDEUR   | Chambre d'agriculture du Jura  |

Cette journée s'est avérée constructive et a permis de confirmer l'approche qui a été retenue et d'apporter quelques modifications à l'outil. Ainsi, la principale validation concerne l'approbation des 19 groupes et de leurs sensibilités. Les regroupements effectués ont *a priori* été jugés pertinents mais il est impératif de bien prendre conscience des limites de ce classement basé sur les connaissances actuelles de la problématique.

Ont ainsi été évoquées, au cours de cette réunion, les possibilités d'évolution de cet outil. En effet, ce n'est, au final, que l'expérience de terrain qui devrait permettre d'entériner les regroupements. Des stations pourront donc être amenées à changer d'un groupe à l'autre. Ces modifications pourraient affecter les stations issues des catalogues ne bénéficiant pas de guide simplifié de choix des essences et pour lesquelles des discussions sont encore possibles.

En fin de compte, l'ensemble des acteurs a souligné l'intérêt de la démarche et semble accueillir de façon favorable cette déclinaison régionale des protocoles nationaux.

Notons qu'il aurait été certainement très intéressant de pouvoir réaliser une cartographie de sensibilité des sols forestiers à partir de ce classement. Malheureusement, il n'existe à l'heure actuelle aucune données SIG faisant ne serait-ce qu'un début de synthèse stationnelle à l'échelle de la Franche-Comté (Abt, communication personnelle). En effet, de telles cartes de sensibilités à partir des données stationnelles ne sont prévues que pour l'horizon 2012 et ceci uniquement pour deux régions d'application de catalogues de stations ; travail qui devrait être réalisé par l'Office national des forêts.

Ces cartes devraient apporter une meilleure précision des sensibilités à l'échelle des parcelles forestières, pour peu que les forêts soient couvertes par une cartographie des stations forestières. Elles devraient ainsi permettre d'établir des surfaces relativement fiables sur lesquelles se baser pour évaluer les potentialités de production de bois-énergie.

*☞ Ce qu'il faut retenir :*

Les résultats cartographiques se sont révélés relativement bien correspondre à la réalité du terrain, au-delà même des espérances que nous pouvions avoir avant sa mise en œuvre. Les seuls résultats encore discutés concernent la sensibilité minérale dans le haut Jura et la sensibilité aux tassements au sein des Vosges saônoises. Comme précisé auparavant, ces résultats ne doivent servir qu'à dégager des tendances générales pour des régions, des cantons donnés. L'utilisation de l'information telle quelle au niveau du massif, voire de la commune s'avère inappropriée, à la vue de la précision des données d'entrée.

Pour plus de précisions, il faudra se tourner vers l'analyse stationnelle ayant abouti à un classement de chaque station au sein d'un groupe stationnel (GS). Bâti autour de 19 groupes, il permet de caractériser les deux niveaux de sensibilité (à l'exportation minérale et aux tassements) en prenant soin de reprendre les différentes correspondances existant entre station des catalogues, unités stationnelles (US) des guides de choix des essences et les groupes stationnels (GS) du futur guide de recommandation d'exploitation.

C'est à partir de ce regroupement que les recommandations d'exploitation, précisées dans la suite du rapport, seront formulées pour chacune des classes distinguées.

## 4. Propositions de gestion et vulgarisation

En matière d'exploitation forestière, la minimisation des dégâts portés aux sols passe principalement par trois axes majeurs, mentionnés ci-après (Richter, 1999 ; Fouyer et Viry, 2006 ; Cacot, 2008a et 2008b) :

- La connaissance de la sensibilité des sols du chantier
- l'adaptation des engins d'exploitation et
- l'organisation de chantiers.

C'est pourquoi la partie précédente s'est attachée à définir les sensibilités physique et chimique de chaque station forestière franc-comtoise. Sur cette base, il sera ainsi possible de déterminer le potentiel de production de bois-énergie, que l'on qualifiera de récolte raisonnée des rémanents, ainsi que les contraintes d'exploitation à prendre en considération, passant notamment par l'adaptation des méthodes d'exploitation.

### 4.1. De la récolte raisonnée des rémanents...

Comme nous venons de le rappeler, pour adopter une gestion durable de la ressource, il est nécessaire, avant toute chose, de définir les zones propices aux exports minéraux et surtout celles qui ne le sont pas.

Il est ainsi déconseillé de récolter les menus bois sur les sols pauvres et les zones sèches sur sols squelettiques (Danielsson, 1994 cité par Cacot *et al.*, 2003).

Pour chaque niveau de sensibilité des sols à l'exportation minérale (trois classes retenues), il est ensuite possible de prodiguer des conseils qui tiennent d'ailleurs du bon sens.

La première des précautions est de procéder à des récoltes partielles de la biomasse aérienne des arbres, de sorte à laisser sur la parcelle suffisamment de matière minérale pour assurer la pérennité de la capacité de production des écosystèmes forestiers. Notons qu'il est, de toute façon, techniquement complexe de récupérer plus de 70 % du branchage. Ceci a en effet été prouvé par Cuchet *et al.* (2003 ; Cacot *et al.*, 2007), pour les modes d'exploitation des menus bois classiques ; c'est-à-dire que les branchages sont d'abord andainés au moment de l'abattage, puis ensuite récupérés sur la coupe au moyen d'un broyeur autotracté, d'une fagoteuse ou d'un porteur.

Cette restriction liée au matériel utilisé n'est cependant pas intellectuellement satisfaisante, d'autant plus qu'avec les progrès des machinistes agricoles et forestiers, il est possible d'imaginer que de moins en moins de matière sera laissée sur la coupe, c'est pourquoi, d'autres limitations doivent être envisagées de manière à cadrer le travail des exploitants. Le meilleur moyen de ne procéder qu'à des récoltes partielles de menus bois reste la limitation du nombre de récoltes des menus bois dans la vie du peuplement (Cacot *et al.*, 2006).

C'est ainsi que des itinéraires types d'exploitation des rémanents ont été élaborés et diffusés dans le guide "La récolte raisonnée des rémanents en forêt" (Cacot *et al.*, 2006). Ils sont repris dans une forme un peu différente dans le tableau 20 ci-après.

Précisons que dans le cas de futaies irrégulières ou jardinées, très présentes dans le massif jurassien, on considèrera comme vie du peuplement l'âge maximum d'exploitabilité des arbres. L'extraction de menus bois sera donc envisageable un certain nombre de fois (se référer au tableau) dans ce laps de temps.

Pour les situations pour lesquelles les propriétaires souhaiteraient toutefois réaliser plus d'extraction de rémanents que recommandé dans ce tableau, il a été étudié la possibilité d'avoir recours à des fertilisations pour compenser les pertes minérales dues à l'intensification de l'exploitation. Non préconisées par PEFC, il convient toutefois de relater ces pratiques comme un moyen, parmi d'autres, auquel le propriétaire, qui n'est pas obligatoirement certifié, peut avoir recours.

Pratiques peu usitées dans nos forêts françaises, l'amendement et la fertilisation des peuplements forestiers sont cependant étudiés depuis longtemps. Toutefois, il convient également de stipuler que ces fertilisations ont un coût et qu'il est donc nécessaire de réaliser un calcul économique des bénéfices possibles de l'opération avant d'en envisager la réalisation, d'autant plus que les résultats de ces opérations sont extrêmement variables et toujours limités. Citons pour illustration, l'étude de Nys *et al.* (2000) qui n'ont constaté, dans le meilleur des cas de leur étude, qu'une augmentation de 0,5 unité de pH.

D'autres expérimentations plus récentes ont été menées. Ainsi, selon Cacot *et al.* (2007), il conviendrait, pour compenser les pertes, d'apporter à chaque prélèvement supplémentaire de rémanents – par rapport aux préconisations du tableau 20 – un amendement calco-magnésien de l'ordre de 3 à 4 tonnes par hectare. En

outre certains peuplements pourraient nécessiter des apports extérieurs de 80 à 100 kg de phosphate par hectare.

La valorisation énergétique du bois-énergie laisse entrevoir une autre possibilité d'épandage d'éléments minéraux. En effet, la combustion des bois engendre inévitablement des cendres d'incinération qui pourraient alors être restituées aux peuplements. Interdits en France, ces épandages sont couramment employés en Suède ou aux États-unis, pour ne citer qu'eux. Cependant, le principe de précaution demande à ce que des études complémentaires soient réalisées avant toute généralisation. Il convient donc de bien cerner l'ensemble des conséquences bénéfiques mais également néfastes que peuvent avoir de telles pratiques sur les écosystèmes forestiers. *A priori*, il semblerait que les cendres permettent un bon retour de la majorité des éléments minéraux aux sols forestiers, à l'exception de l'azote qui se volatilise lors de la combustion.

**Tableau 20 : Recommandations pour la récolte des rémanents (Cacot *et al.*, 2005 ; Cacot *et al.*, 2006).**

|                                 | RÉSINEUX   |   |                        | FEUILLUS  |                            |  |
|---------------------------------|--|---|------------------------|---|----------------------------|--|
|                                 | <i>Epicéa</i>  | <i>Douglas</i>  | <i>Autres résineux</i> | <i>Taillis</i>  | <i>Taillis sous futaie</i> | <i>Futaie</i>  |
| <b>Sol peu sensible</b>         | Deux récoltes de menus bois maximum dans la vie du peuplement : première éclaircie commerciale et coupe finale |   |                        | Récolte des rémanent selon une rotation minimale de 20 ans entre deux coupes de taillis |                            | Pas de restriction particulière                            |
| <b>Sol moyennement sensible</b> | Deux récoltes de menus bois maximum dans la vie du peuplement : première éclaircie commerciale et coupe finale | Une récolte de menus bois maximum dans la vie du peuplement |                        | Récolte des rémanent selon une rotation minimale de 30 ans entre deux coupes de taillis |                            | Récolte des rémanent selon une rotation minimale de 30 ans |
| <b>Sol très sensible</b>        | Aucune récolte des menus bois  |   |                        | Aucune récolte des menus bois   |                            |  |

Une deuxième possibilité de diminuer la pression sur l'exportation minérale est d'allonger la rotation (Cacot *et al.*, 2006). Il faut toutefois bien avoir conscience que cet allongement de la période entre deux interventions peut entraîner des répercussions négatives sur la qualité des bois façonnés.

Il est également recommandé de laisser sécher les houppiers sur le parterre de la coupe de sorte que les feuilles et aiguilles retombent sur le sol permettant de réduire l'exportation minérale (Cacot *et al.*, 2003). Cacot *et al.* (2006) recommande ainsi une période de latence de 4 à 6 mois entre la coupe et l'exportation de rémanents. Poursuivant cette idée, signalons qu'il est préférable de couper les feuillus en période hivernale, ce qui permet de limiter les exports surtout en calcium et magnésium ; c'est un peu moins le cas pour l'azote, le phosphore et le potassium qui ont tendance à être transférés des feuilles vers les branches avant la chute des feuilles. Enfin, les récoltes en période de montée de sève sont vivement déconseillées (Cacot *et al.*, 2007 ; Gomes *et al.*, 2010a) d'une part car les menus bois sont alors extrêmement riches en éléments minéraux et d'autre part car les risques de dégâts aux arbres restants sont alors beaucoup plus importants du fait de la fragilité de l'écorce.

Enfin, les pratiques telles que l'andainage et le travail du sol sont également à limiter car elles ont tendance à augmenter l'appauvrissement des sols. En effet, l'andainage concentre le retour des éléments minéraux sous les andains au détriment du reste de la parcelle et le travail du sol favorise le lessivage de la minéralomasse dans les horizons profonds du sol.

Il est également important de s'assurer d'une exploitation respectueuse du sol. En effet, d'une manière générale, plus les sols sont perturbés, plus la minéralisation de l'humus et son lessivage sont importants (Johnson, 1995 cité par Cacot *et al.*, 2003), aggravant les pertes minérales. C'est ainsi qu'il est important de bien adapter les systèmes d'exploitation aux conditions environnementales du chantier. Tel est l'objet du paragraphe suivant.

## 4.2... à l'adaptation des systèmes d'exploitation...

### 4.2.1. Le choix du type de matériel

#### 4.2.1.1. Diversité du machinisme forestier

De nos jours, le matériel d'exploitation s'est diversifié pour répondre aux attentes provenant d'exploitants désireux de s'adapter au mieux à toutes sortes de conditions d'exploitation. Aux systèmes d'exploitation traditionnels (débardage au tracteur ou porteur) s'ajoutent quantité d'autres techniques utilisables tels l'exploitation par câble, la traction animale...

Parmi le panel de systèmes d'exploitation qui est mis à notre disposition, il convient donc de choisir celui qui permettra l'exploitation optimale (Pischedda *et al.*, 2008 ; Pischedda *et al.*, 2009 ; Gomes *et al.*, 2010a). Pour cela, plusieurs paramètres inhérents aux chantiers doivent être pris en considération. Les plus fréquemment évoqués sont :

- la nature de l'intervention : abattage, débardage...
- le type de produit : bois longs, bois courts, arbres entiers, plaquettes...
- la topographie et notamment la pente,
- la densité de la desserte et son accessibilité (camion, tracteur) dépendant en partie de la topographie ci-dessus évoquée,
- le volume unitaire moyen des arbres et le volume total de la coupe,
- la praticabilité des sols : sensibilité et niveau d'engorgement,
- l'organisation de chantier : reprise des bois par les différents intervenants sur la coupe.

Sans être exhaustif, la suite de ce paragraphe consacré à la diversité du machinisme forestier passe en revue quelques méthodes d'exploitation.

#### L'abattage

Celui-ci peut être réalisé "manuellement" en faisant intervenir des bûcherons équipés de tronçonneuses. Il s'agit de la méthode d'abattage la plus polyvalente. Elle peut être envisagée pour tous types de bois, bien que moins rentables dans les petits bois ainsi qu'en conditions topographiques contraignantes (jusqu'à 110 % de pente). Son coût moyen est de l'ordre de 7 à 10 €/m<sup>3</sup>.

L'abattage peut également être mécanisé avec l'utilisation des abatteuses pouvant être équipées de tête d'abattage à scie ou à pince. Parfois, les têtes d'abatteuses peuvent être montées sur des pelles mécaniques.

Le plus souvent, les têtes à scie sont combinées à une abatteuse et permettent d'exploiter de manière optimale les futaies de petits bois (PB) et bois moyens (BM), voire plus rarement des gros bois (GB). Quant aux têtes d'abattage à pince, elles équipent indifféremment des abatteuses ou des pelles mécaniques et sont employées pour abattre des bois de petites sections, petits bois au maximum. Ces têtes à pince sont notamment utilisées pour les derniers dépressages ou nettoisements dont les produits de coupe sont de plus en plus souvent valorisés pour le bois-énergie. Pour la plupart, ces engins d'exploitation ne peuvent intervenir que sur des pentes inférieures à 40 % et, du fait de leur poids (14 à 16 t de moyenne pour une abatteuse, 10 à 12 t pour une pelle mécanique de chantier), imposent une forte contrainte sur les sols. En conditions sensibles (sol engorgé ou texture limoneuse), il convient de proscrire leur utilisation. Quant à leur coût, il est voisin de 6 à 8 €/m<sup>3</sup>.



**Figure 14 : Pince pour sectionner les petits bois, valorisables en bois-énergie.**

### Le fagotage

Exclusivement réservé à la mobilisation des menus bois, cette opération consiste à regrouper et relier les produits ensemble de sorte à former des ballots pour être plus facilement débardés par la suite. Cette technique fait appel à des fagoteuses. Variant entre 10 et 20 tonnes et couramment employées dans les pays scandinaves, ces machines restent marginales en France, car jugées insuffisamment adaptées à nos conditions d'exploitation forestières (Gomes *et al.*, 2010b) en raison d'une largeur d'encombrement pouvant atteindre 10 m (Cuchet *et al.*, 2003). En outre, le fagotage coûte entre 4 et 6 €/m<sup>3</sup>, soit au final un léger surcoût de la plaquette par rapport à un déchiquetage en forêt (Grulois *et al.*, 2009). De plus, cette opération tend à multiplier les passages d'engins sur la parcelle.

### Le déchiquetage

Il est la plupart du temps réalisé en dehors du peuplement, sur une place de dépôt mais peut également être parfois envisagé à l'intérieur même de la coupe, nécessitant alors l'intervention d'une déchiqueteuse automotrice qui circule sur l'ensemble de la parcelle pour récupérer les produits disséminés. D'un poids de 10 à 20 t, ces machines exercent une contrainte supplémentaire sur les sols. En France, leur utilisation est très occasionnelle car insuffisamment adaptées au contexte forestier (Gomes *et al.*, 2010b).

### Le débusquage et le débardage

Il s'agit de l'opération qui consiste à emmener les bois de leur lieu d'abattage à la place de dépôts où ils pourront être repris par un grumier.

Le moyen de débardage le plus fréquemment employé est le débusqueur, aussi appelé skidder. Ce matériel convient idéalement au débardage des bois longs de dimensions importantes, bois moyens à gros bois voir des très gros bois. Toutefois, il reste possible de débarder des petits bois au débusqueur, mais l'opération devient moins rentable. En revanche, ce type de matériel ne peut intervenir que sur pentes inférieures à 40 %. Le coût moyen est de l'ordre de 6 à 8 €/m<sup>3</sup>. D'un poids élevé (14 à 16 t), les contraintes appliquées au sol sont importantes du fait des forces mises en jeu pour tirer les grumes. Sur sol sensible et engorgé voire frais, il est donc nécessaire d'en proscrire l'utilisation. Enfin, rappelons que les débusqueurs, même ceux équipés d'une pince, ne doivent pas, comme les autres engins, sortir des cloisonnements afin de ne pas tasser les sols à l'intérieur du peuplement.



**Figure 15 : Débusqueur à grue travaillant sur sol gelé.**

Autre machine couramment employée, le porteur est optimal pour le débardage des bois courts de petits bois ou bois moyens et est également fréquemment utilisé pour débarder le menu bois. Son coût est également de 6 à 8 €/m<sup>3</sup>. Également limité à des pentes inférieures à 40 %, la contrainte qu'il exerce au sol est supérieure encore à celle du débardeur puisqu'à son poids (de l'ordre de 16 à 20 tonnes) s'ajoute celui du bois débardé, d'où un poids total pouvant atteindre 25 à 30 t. Son utilisation est donc à bannir sur sol humide (frais) et encore plus sur sol engorgé. À la vue des contraintes mises en jeu, même sur sol sec, il est préférable d'essayer de limiter l'impact des porteurs soit en les équipant de tracks qui permettent de répartir la charge sur une surface plus grande, soit en circulant une couche de rémanents.



Figure 16 : Porteur débardant des menus bois.



Figure 17 : Cheval de fer (Salon du bois-énergie à Besançon – 25 mars 2011).

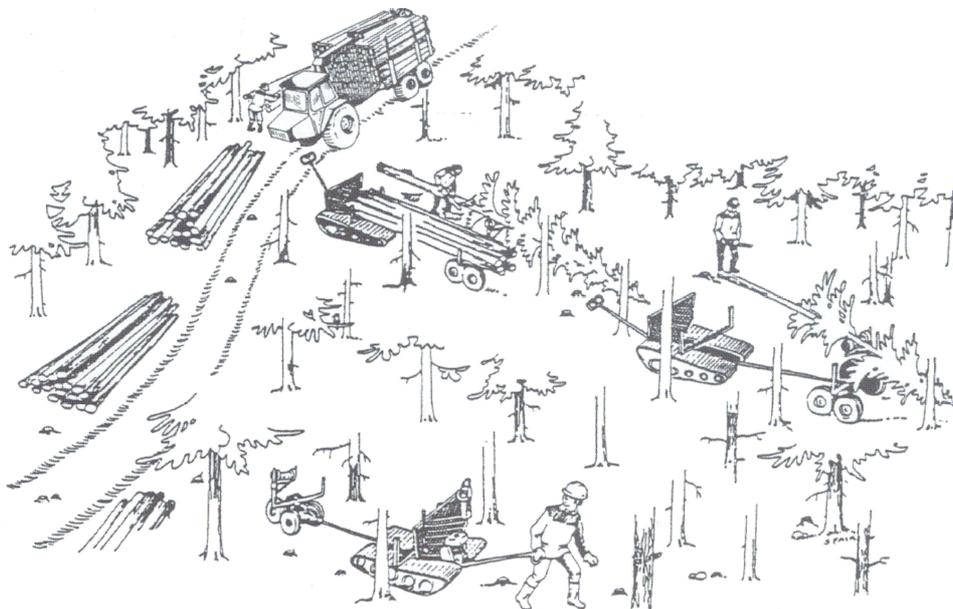
Les chenillards, à l'image du cheval de fer ou encore du raup-trac, peuvent être utilisés pour débarder différents types de produits en fonction de la puissance de l'engin. Équipés d'une remorque, ces outils sont idéaux pour débarder des petits bois ; équipés d'un trinqueballe, il est envisageable de sortir des bois moyens voire des gros bois. D'une productivité faible comprise entre 1,2 à 3,5 m<sup>3</sup>/h<sup>1</sup>, leur utilisation optimale concerne les PB (Pischedda *et al.*, 2008 ; Pischedda *et al.*, 2009). Leurs principaux avantages résident dans leur manoeuvrabilité et leur poids faible, comparé aux autres machines intervenant en forêt. La contrainte exercée sur les sols est donc faible ce qui permet leur utilisation sur sol fragile, voire, pour les modèles les plus petits, sur sol engorgé, mais toujours sur des terrains relativement plats. Quant à leurs coûts, ils restent assez élevés, de l'ordre de 20 à 22 €/m<sup>3</sup> (Pischedda *et al.*, 2008).

La traction animale peut également être utilisée pour le débardage de petits bois et bois moyens, bien que les attelages puissent également permettre d'envisager la sortie des gros bois par traction animale. Cantonnée sur les pentes inférieures à 20 %, cette méthode remplace parfois le débusqueur sur les sols sensibles aux tassements. En effet, le faible poids du cheval en comparaison au débusqueur fait peser des contraintes moindres sur les sols. Cependant, la surface des sabots des chevaux étant restreinte, la pression est très localisée et peut quand même provoquer sur sols engorgés des problèmes de poinçonnement. Sans être aussi néfastes qu'un compactage étendu, il est préférable de les éviter d'autant plus que la progression du cheval en est également affectée. D'un rendement relativement faible, le coût reste plus important que pour un débusqueur. Il oscille entre 18 et 23 €/m<sup>3</sup>.



Figure 18 : Débardage par traction animale.

Dans certains cas, il peut être envisagé d'associer deux méthodes de débardage. Ainsi, il est parfois envisagé l'association petit chenillard ou cheval avec un débusqueur. En effet, sur un réseau de cloisonnements à espacement lâche, le cheval ou chenillard débusque les grumes et les ramène en bordure de cloisonnement où elles sont reprises par le débusqueur qui n'a donc besoin ni de sortir des cloisonnements, ni de tirer son câble pour hâler les bois. Cette méthode de vidange mixte des bois est illustrée ci-dessous.



**Figure 19 : Débusquage des bois par un cheval de fer et débardage au porteur pour un peuplement dont le réseau de cloisonnement est très lâche (Moberg *et al.*, 1988, cité par Pischedda *et al.*, 2009).**

### Le câblage

Quant aux fortes pentes ou aux terrains trop engorgés pour être mécanisables, il est alors possible de faire appel aux câblistes ; les arbres entiers, y compris le menus bois, peuvent alors être ramenés jusqu'à la route accessible aux grumiers.

L'exploitation se fait alors par arbres entiers pouvant laisser craindre une exportation minérale importante. Une expérience suisse vient toutefois infirmer cette hypothèse. Les forestiers helvètes considèrent le retour de minéralomasse suffisant ce qui semble être confirmé par quelques expériences françaises (ONF *et al.*, 2010 ; GRULOIS *et al.*, 2009). En effet, l'ébranchage sommaire des plus grosses branches, laissées sur le parterre de la coupe, permet de laisser selon leurs expérimentations près du tiers du tiers des menus bois sur la coupe.

Il est souvent opposé au développement du câble, son prix de mobilisation des bois plus important. Toutefois BRUCIAMACCHIE *et al.* (2008) ont montré qu'en intégrant l'ensemble des composantes de chaque type de chantier, y compris les pertes de valeur d'avenir des arbres et les pertes de production liée aux tassements des sols, les coûts du débardage par câble sont voisins de ceux du débusqueur.

Plusieurs types de câbles existent. Ils sont détaillés ci-après.

Le câble long permet de débarder des arbres sur une distance pouvant atteindre 2 000 m dans un couloir d'exploitation de 80 à 100 m. L'équipement consiste en un câble fixe tendu le long de la pente sur lequel circule un chariot téléphérique actionné au moyen d'un câble mobile. Ce câble mobile est lui-même entraîné en s'enroulant et se déroulant sur le tambour d'un treuil solidaire d'une plateforme appelée traîneau-treuil (voir Figure 20). Celle-ci, équipée de patins d'acier est haubanée à des arbres toujours en amont de la coupe et permet de débarder les bois sur une place de dépôt située en aval de la coupe.



**Figure 20 : Traîneau-treuil.**

Idéal pour débarder les bois de montagne éloignés des infrastructures routières, la méthode nécessite un volume de bois à débarder conséquent. En effet le temps d'installation nécessite bien souvent un minimum de deux jours en raison de la faible accessibilité des zones débardées et de la longueur de câble à installer. De plus, le traîneau-treuil est parfois hélicoptéré au sommet de la coupe ce qui en augmente le coût d'installation. L'indice de prélèvement câble (IPC) nécessaire pour rentabiliser l'exploitation doit être au minimum de  $0,5 \text{ m}^3$  par mètre linéaire de câble. C'est pourquoi, les exploitations par câble long se tournent prioritairement vers les bois moyens et surtout les gros bois et très gros bois. Les rendements sont estimés à 7 à  $11 \text{ m}^3$  par heure productive (sans compter les temps d'installation) et les coûts avoisinent les 40 à  $50 \text{ €/m}^3$ .

Le principe du câble-mât est assez similaire à celui du câble long. Les différences du câble-mât en font ses avantages. Le moteur et le premier mât de l'installation sont directement montés sur une remorque qui constitue à la fois un atout de mobilité et d'installation plus rapide. En revanche, la longueur de câble est de 600 à 800 m, limitant la portée de l'exploitation. Notons que le dispositif peut être installé pour débarder les bois à la montée ou à la descente en fonction des caractéristiques topographiques et de la desserte.

Là encore le prélèvement minimal conseillé est de l'ordre de  $0,5 \text{ m}^3/\text{ml}$ . Certes, en France, les engins utilisés sont souvent de fortes puissances et donc plus adaptées et rentables pour des bois moyens et gros bois, mais il est bon de rappeler que différents modèles de câble-mât existe dont certains de dimensions plus petites. Utilisés dans certains pays de l'arc alpin, ils permettent de rentabiliser l'exploitation de produits plus petits (petits bois et bois moyens) en minimisant les investissements de départ ainsi que les temps d'installation et de démontage. D'un rendement équivalent au câble long, environ  $7 \text{ à } 11 \text{ m}^3/\text{h}$ , le coût d'une telle exploitation est de l'ordre de à 20 à  $30 \text{ €/m}^3$ .



**Figure 21 : Débardage par câble-mât, machine en bas. Chantier de démonstration à Apremont (01).**



**Figure 22 : Câble-mât de petite dimension, monté sur remorque.**

Le câble zigzag est une technique originaire de Suisse, relativement simple à mettre en œuvre. Elle permet d'envisager l'exploitation des petits bois en zone de pente, situation souvent problématique se traduisant la plupart du temps par une non-intervention.

Il s'agit d'un câble d'environ 1 cm de diamètre tournant en continu, à la vitesse de 1 à 2 km/h, dans une boucle sans fin, au moyen d'un treuil cabestan entraîné par un moteur d'une puissance de l'ordre de 10 CV. Le câble est tendu à environ 2 mètres de hauteur grâce à l'utilisation de poulies accrochées directement sur les arbres du peuplement. Ces poulies d'un type un peu particulier (poulies semi-ouvertes) permettent le passage des crochets ou cordes auxquels sont attachés les bois à débarder (Bartoli *et al.*, 2006).

Cette installation est montée en zigzag, d'où son nom, de sorte à couvrir l'ensemble de la parcelle à exploiter. Adaptée en plaine comme en montagne pour des petits bois (charge maximale de l'ordre de 200 kg), elle permet d'exploiter les bois sur une pente de 40 % à la montée et jusqu'à 70 % à la descente.

Cette technique utilisée dans les Pyrénées, en Ariège, jusque dans les années 1980 ne trouve aujourd'hui plus d'entrepreneur pour la faire perdurer, ce qui ne permet pas d'avoir de retour d'utilisation quant au

rendement et aux coût de revient (Bartoli *et al.*, 2006). Il semblerait qu'elle puisse pourtant répondre à un marché en valorisant les produits de dépressage ou de première éclaircie de montagne.

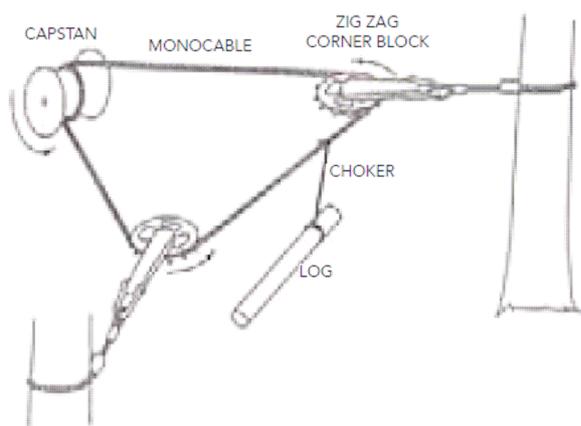


Figure 23 : Schéma descriptif du fonctionnement d'un câble zigzag.

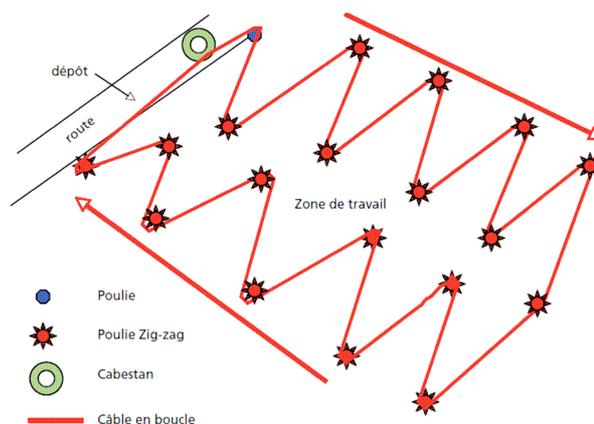


Figure 24 : Schéma d'un chantier d'exploitation au câble zigzag.

#### 4.2.1.2.Élaboration d'une grille de recommandations

Le but ultime de cette étude est d'aboutir à un guide de recommandations d'exploitation à destination des propriétaires forestiers. J'ai donc envisagé l'élaboration d'une grille de recommandations. Elle se devait non seulement de présenter largement le panel des systèmes d'exploitation potentiel tout en restant très synthétique pour être facilement comprise et intégrée par des personnes qui ne sont pas expertes en la matière. De telles initiatives ont déjà été mise en œuvre, comme en témoigne la grille élaborée par Staub (2009). Cependant, cette grille s'avère complexe et difficilement utilisable par des propriétaires forestiers dont certains ne disposent pas des qualifications et connaissances suffisantes pour en permettre sa compréhension.

L'idée de base de cette grille a donc été gardée, mais elle a été réorganisée afin d'être plus intuitive. Quatre grilles ont donc été élaborées, une pour chaque niveau de sensibilité des sols forestiers aux tassements. Elles sont présentées ci-après par les quatre tableaux accompagnés de leurs commentaires et annotations.

Chacun de ces tableaux fonctionne sur le même principe. Plusieurs systèmes d'exploitation, les plus courants, ont été retenus et classés en fonction de leurs possibilités optimales d'utilisation concernant la pente et les produits exploités. Attention toutefois aux conclusions trop hâtives. Lorsque l'on mentionne que les produits exploités par les abatteuses ou débardés par traction animale correspondent aux petits bois (PB) et bois moyens (BM), cela ne veut pas dire qu'il n'est pas possible de les faire intervenir sur des gros bois (GB). Nous signifions juste que les conditions techniques et économiques optimales correspondant à ces systèmes d'exploitation sont les PB et BM. En ce qui concerne le câblage, le câble long n'a pas été retenu car cette technique plus onéreuse, du fait d'une installation plus longue, et déjà peu employée tend à être remplacée au profit du câble-mât. En revanche, le câble zigzag, certes peu utilisé en France, a été retenu car il propose une alternative intéressante.

Ont ensuite été distingués plusieurs degrés d'engorgement des sols définissant leur praticabilité.

Ceci permet de définir plusieurs situations, représentées par les cases du tableau et censées traduire les caractéristiques techniques et environnementales des chantiers d'exploitation.

À chaque case est ensuite assignée une couleur. Le rouge conseille de ne pas intervenir dans de telles situations avec ce type de matériel. La couleur orange exprime la possibilité d'interventions tout en opposant des réserves qui sont clairement définies par les annotations (numéros ou étoile figurant dans la case). Enfin le vert mentionne les situations favorables. Attention, ce n'est pas parce que la situation est propice que l'exploitation doit être irraisonnée ; il convient bien évidemment de surveiller le chantier de manière à ce qu'il soit mené en respectant les conseils usuels de respect des sols, l'utilisation des cloisonnements et tous les conseils qui sont repris dans la partie 4.2.2., concernant l'organisation du chantier.

| Pente                                  |             | Inférieure à 40 % |           |         |            |            | Indifférent   |           |
|--|-------------|-------------------|-----------|---------|------------|------------|---------------|-----------|
| Produits exploités                     |             | PB à BM           |           |         | PB à GB    | BM à TGB   | PB            | BM à GB   |
| Moyen de débusquage et/ou de débardage |             | Traction animale  | Abatteuse | Porteur | Chenillard | Débusqueur | Câble zig-zag | Câble-mât |
| Praticabilité des sols                 | Sol sec     |                   |           |         |            |            |               |           |
|  | Sol frais   |                   |           |         |            |            |               |           |
|  | Sol engorgé |                   | 1         | 1       |            | 1          |               |           |
|  | Sol gelé    |                   |           |         |            |            |               |           |

**Tableau 21 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols peu sensibles aux tassements.**

1. Sur sol temporairement engorgé, reporter l'exploitation. À défaut, les porteurs, abatteuses et autres débusqueurs doivent circuler sur une couche de rémanents.

| Pente                                  |             | Inférieure à 40 % |           |         |            |            | Indifférent   |           |
|--|-------------|-------------------|-----------|---------|------------|------------|---------------|-----------|
| Produits exploités                     |             | PB à BM           |           |         | PB à GB    | BM à TGB   | PB            | BM à GB   |
| Moyen de débusquage et/ou de débardage |             | Traction animale  | Abatteuse | Porteur | Chenillard | Débusqueur | Câble zig-zag | Câble-mât |
| Praticabilité des sols                 | Sol sec     |                   |           |         |            |            |               |           |
|  | Sol frais   |                   |           | 1       |            | 1          |               |           |
|  | Sol engorgé |                   |           |         |            |            |               |           |
|  | Sol gelé    |                   |           |         |            |            |               |           |

**Tableau 22 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols moyennement sensibles aux tassements.**

1. Sur sol frais, les porteurs ou débusqueurs doivent être équipés de tracks et leur charge limitée. Utiliser les rémanents comme couche de roulement protectrice du sol.

| Pente                                  |             | Inférieure à 40 % |           |         |            |            | Indifférent   |           |
|--|-------------|-------------------|-----------|---------|------------|------------|---------------|-----------|
| Produits exploités                     |             | PB à BM           |           |         | PB à GB    | BM à TGB   | PB            | BM à GB   |
| Moyen de débusquage et/ou de débardage |             | Traction animale  | Abatteuse | Porteur | Chenillard | Débusqueur | Câble zig-zag | Câble-mât |
| Praticabilité des sols                 | Sol sec     |                   |           | 3*      |            |            |               |           |
|  | Sol frais   |                   | 2*        |         |            |            |               |           |
|  | Sol engorgé |                   |           |         | 1          |            |               |           |
|  | Sol gelé    |                   |           | 3*      |            |            |               |           |

**Tableau 23 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols sensibles aux tassements.**

1. Éviter les chenillards de plus de 2 t sur ce type de station.
  2. Sur sol frais, éviter le recours à l'abatteuse ou l'équiper de tracks.
  3. Même sur sol sec ou gelé, les porteurs doivent être équipés de tracks et leur charge limitée.
- \* Circulation sur une couche de rémanents.

| Pente                                  |             | Inférieure à 40 % |           |         |            |            | Indifférent   |           |
|--|-------------|-------------------|-----------|---------|------------|------------|---------------|-----------|
| Produits exploités                     |             | PB à BM           |           |         | PB à GB    | BM à TGB   | PB            | BM à GB   |
| Moyen de débusquage et/ou de débardage |             | Traction animale  | Abatteuse | Porteur | Chenillard | Débusqueur | Câble zig-zag | Câble-mât |
| Praticabilité des sols                 | Sol sec     |                   |           |         |            |            |               |           |
|  | Sol frais   |                   |           |         |            |            |               |           |
|  | Sol engorgé |                   |           |         | 1          |            |               |           |
|  | Sol gelé    |                   |           |         |            |            |               |           |

**Tableau 24 : Grille de recommandations d'exploitation pour les sols très sensibles aux tassements.**

1. Seuls les chenillards de petites dimensions (moins de 1 t) du type cheval de fer peuvent être employés sur ce type de station en vue d'exploiter des arbres de faibles dimensions (PB ou billons de GB).

Pour conclure cette partie concernant l'adaptation du matériel de débardage aux conditions d'exploitation, signalons qu'en la matière les préconisations sont valables à une date donnée. En effet, le rythme d'évolution des machines est tel que les recommandations d'aujourd'hui peuvent s'avérer obsolètes demain si une nouvelle innovation vient à révolutionner l'exploitation forestière (Pischedda, 2008). En outre, nous n'avons intégré à nos préconisations que le matériel usuellement utilisé au niveau régional ou du matériel qui pourrait rapidement le devenir tel le câble zigzag. Ainsi, de nombreuses machines spécifiques n'ont pas été abordées dans notre approche ; c'est notamment le cas de certains engins d'exploitation spécialement conçus pour intervenir en conditions de fortes pentes sur des terrains habituellement réservés à l'exploitation par câble (Peeters, 2004). Signalons parmi ces engins, les possibilités de recours aux pelles-araignées ou encore des abatteuses montées sur chenilles permettant d'intervenir sur des pentes pouvant atteindre 70 %.

#### 4.2.2. Le réseau de cloisonnement et l'organisation du chantier

Pour les parcelles forestières exploitées au débusqueur, porteur ou autre engin terrestre, l'organisation du chantier passe notamment par l'ouverture et l'entretien d'un réseau de cloisonnements qui permet de minimiser la surface parcourue par les machines lors des exploitations.

Tout d'abord, il est nécessaire de distinguer les cloisonnements sylvicoles de ceux d'exploitation. Les premiers mentionnés serviront lors de la phase de travaux dans le jeune âge du peuplement pour permettre une meilleure circulation de gyrobroyeurs. D'une largeur minimale de 3 mètres, ils sont espacés très régulièrement (entraxe de 6 à 10 mètres selon la sensibilité des sols) pour assurer un entretien plus aisé de ces peuplements par les ouvriers sylvicoles (dépressage, élagage...).

Quant aux cloisonnements d'exploitation, ils seront empruntés dès la valorisation des premières pièces de bois lors des débardages. D'une emprise minimale de 4 mètres pour permettre le passage des engins, leur espacement est un multiple de l'espacement des cloisonnements sylvicoles. En règle générale, il faut retenir une fourchette allant de 20 m d'espacement d'axe en axe pour les sols peu sensibles à 40 m d'axe en axe pour les sols sensibles.

Ainsi au cours de la vie du peuplement et du grossissement des arbres, le nombre de cloisonnements utilisés diminuera au fil des exploitations. En effet, pendant la phase de travaux, tous les cloisonnements sylvicoles serviront. Au stade de la première éclaircie, les bois seront exploités à partir des cloisonnements d'exploitation. À partir de la deuxième ou de la troisième éclaircie (en fonction de la croissance des arbres, de l'essence, de la fertilité...), il sera possible de se contenter d'un seul cloisonnement d'exploitation sur deux. Ainsi, le tableau suivant récapitule quelques préconisations sur lesquelles on pourra se baser pour mettre en place son propre réseau de cloisonnements.

**Tableau 25 : Préconisations de constitution du réseau de cloisonnement lors de leur mise en place en futaie sur terrain plat ou dont la pente est inférieure à 40 %.**

|  | <b>Espacement des cloisonnements</b>                  |  |   |
|--|---|--|---|
|  | Pendant les travaux<br>(cloisonnements<br>sylvicoles) | Premières éclaircies<br>(cloisonnements<br>d'exploitation) | Éclaircies suivantes<br>(un cloisonnement<br>d'exploitation sur deux) |
| <b>Sols faiblement ou moyennement<br/>sensibles aux tassements</b>   | 8 m   | 16 m   | 32 m  |
| <b>Sols fortement ou très fortement<br/>sensibles aux tassements</b> | 10 m  | 20 m   | 40 m  |

Il faut également souligner que ce type de réseau de cloisonnements s'adapte assez aisément au câblage aérien s'il on souhaite exploiter une parcelle sur des sols engorgés. En effet, pour installer les lignes de câble, il pourra être utilisé un cloisonnement d'exploitation tous les 64 ou 80 m.

Sur les parcelles dont la pente est supérieure à 40 %, il est conseillé de recourir au câble. Dans ce cas, il n'est pas utile d'ouvrir des cloisonnements. Les lignes de câbles seront alors ouvertes juste avant la réalisation des chantiers.

Quelques règles simples doivent également être respectées pour une meilleure efficacité de ce réseau de cloisonnements.

Ils doivent être ouverts dans le sens de la plus grande pente pour améliorer l'évacuation de l'eau et donc leur praticabilité. Attention toutefois aux très fortes pentes où l'érosion peut survenir ; une couche de rémanents ou des renvois d'eau peuvent alors en limiter l'importance.

Leur implantation doit minimiser leur impact sur les cours d'eau, zones humides. Aucun cloisonnement ne devra traverser ces zones sensibles et les bois devront être débardé par treuillage à partir du tracteur débusqueur.

Afin de faciliter le travail des exploitants, il faudra veiller à minimiser les distances de traînage et à faciliter la circulation au sein des cloisonnements. Pour cela, une implantation des cloisonnements en arêtes de poisson par rapport à la piste est recommandée (angle de 30 à 45°). Si les cloisonnements aboutissent perpendiculairement aux pistes, l'emprise de la sortie pourra être élargie pour pouvoir tourner sans endommager les arbres de bordures.

Pour être efficaces, les cloisonnements devront également être visibles. Renouf (2009) a montré que s'ils ne sont pas ou mal matérialisés, la surface tassée sur la coupe augmente.

Enfin, il peut être nécessaire de protéger les sols de ces cloisonnements pour les sols les plus sensibles. Ainsi, l'utilisation d'une couche protectrice de rémanents déposée sur les cloisonnements peut réduire significativement l'impact des engins de débardage sur le sol, pour peu que la couche de rémanents soit suffisante. Dans l'idéal, son épaisseur devra être comprise entre 20 et 30 cm afin d'assurer son rôle de protection des sols tout en minimisant l'effet d'andainage et donc de concentration des minéraux.

La figure 25 ci-après illustre un exemple type de ce que peut être un réseau de cloisonnements sur une parcelle.

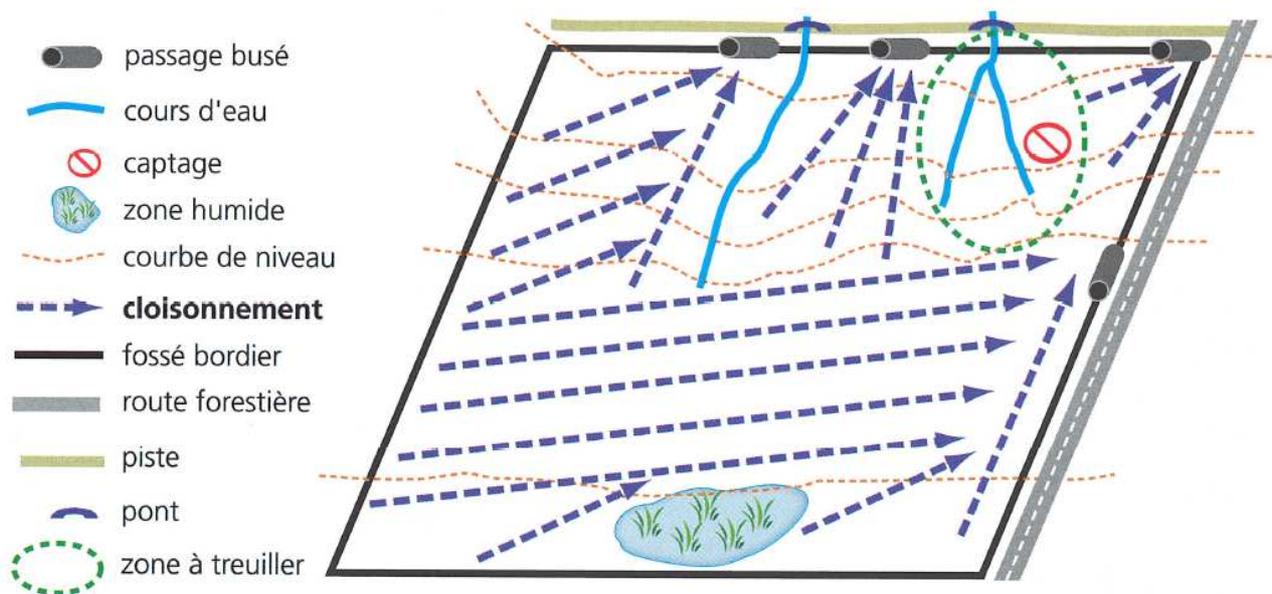


Figure 25 : Exemple type d'un réseau de cloisonnements (Lavaupot, 2005, cité dans Pischedda *et al.*, 2009).

Enfin, la dernière préconisation qu'il est bon de rappeler concerne l'organisation temporelle des chantiers d'exploitation. Les zones les plus sensibles doivent être exploitées prioritairement lorsque les conditions de portance des sols sont réunies (Renouf, 2009 ; Rouyer, 2007).

Ainsi, pendant les périodes d'engorgement, les exploitations devront se reporter sur les régions connues pour leur meilleure résistance aux tassements et qui ont notamment été mise en évidence par la carte de sensibilité. À l'inverse, pendant les périodes où les sols sont ressuyés ou gelés, les exploitations devront privilégier les régions connues pour leur sensibilité.

La même logique doit être appliquée à l'échelle même des parcelles. En effet, nombre de chantiers d'exploitation chevauchent plusieurs types de station aux sensibilités différentes vis-à-vis des tassements. Si les conditions d'exploitation et de ressuyage des sols sont favorables, il est alors recommandé de débiter le chantier par les zones les plus sensibles et de se rabattre ensuite sur les zones moins sensibles si les conditions se dégradent.

### 4.3.... en vue d'un guide de recommandations d'exploitation

Comme indiqué précédemment, l'objectif ultime de cette étude est la rédaction et la publication d'un guide de recommandations d'exploitation. Destiné aux gestionnaires et aux propriétaires, il doit être synthétique et devra servir d'outil d'aide à la décision. En effet, il faudra non seulement qu'il aiguille sur l'intensité d'exploitation des menus bois mais également qu'il permette d'orienter vers un choix de système d'exploitation.

Sous la forme d'un livret d'une trentaine de pages, ce document informera les propriétaires sur les problématiques de tassements et d'exportation minérale et sur leurs conséquences. Il aura pour vocation de décrire chacun des 19 groupes stationnels (GS) que l'analyse a permis de dégager et d'associer à chaque situation des recommandations d'exploitation.

La maquette de ce document est présentée ci-après :

- une première partie présentera les problématiques d'appauvrissement et de tassement des sols forestiers et leurs conséquences sur les peuplements restants en place,
- une deuxième partie présentera les systèmes d'exploitation que nous avons retenus, dont nous avons parlé précédemment,
- la clé de détermination permettant de définir le groupe stationnel (GS) auquel appartiennent les sols forestiers,
- une fiche descriptive par groupe stationnel (GS), soit un total de 19 fiches qui constitueront le cœur de l'ouvrage,
- une partie permettant de faire les correspondances entre les unités stationnelles (US) des guides de choix des essences et les groupes stationnels (GS) du guide de recommandations d'exploitation des menus bois,
- une annexe apportant une aide à l'utilisation de la clé de détermination, précisant notamment les listes de plantes indicatrices (avec photos) et une aide à la détermination de la texture des sols.

#### 4.3.1. Élaboration d'une clé de détermination

Comme pour toute typologie, l'outil majeur de ce type de document est la clé de détermination. Celle-ci doit permettre de définir à quel type de groupe stationnel (GS) appartient un relevé effectué en forêt.

Cette clé doit être fonctionnelle, facile d'utilisation et compréhensible par une majorité de propriétaires.

Elle s'articule autour de la position topographique, des caractéristiques pédologiques (principalement, texture, charge en éléments grossiers et hydromorphie), de la végétation et dans une moindre mesure du peuplement spontané. Elle s'accompagne d'encarts apportant des précisions, notamment concernant le vocabulaire technique.

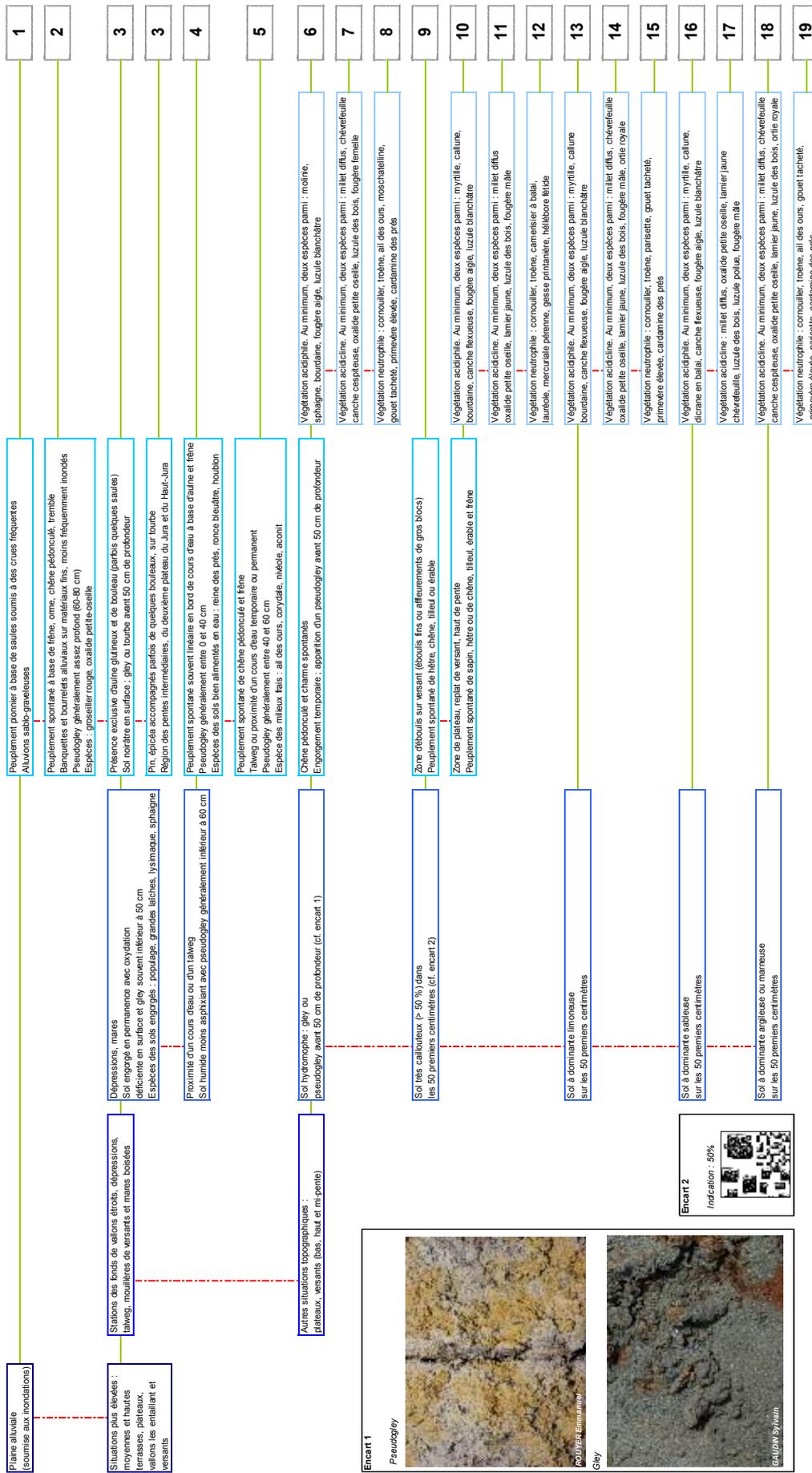
De même, la végétation mentionnée sera reprise en annexe sous forme de photographies pour être facilement utilisable, y compris par des gens non qualifiés en botanique. Une annexe complémentaire vient également préciser les critères de détermination de la texture.

Cette clé a bien évidemment fait l'objet de tests sur le terrain concomitants avec la validation des groupes stationnels (le 6 juin 2011 aux alentours de Dole). Ayant réuni une douzaine de personnes, cette journée a permis d'apporter les modifications nécessaires à sa bonne compréhension et de juger de son adaptabilité aux conditions des relevés de terrain.

Une journée de tests auprès des propriétaires a également été organisée pour juger de leurs attentes vis-à-vis de l'outil. Au cours de cette journée organisée dans le cadre d'une réunion de centre d'études techniques et économiques forestières (CETEF), la quinzaine de propriétaires impliqués a notamment pu donner son avis sur les difficultés d'utilisation de la clé, pouvant tout aussi bien être liées au vocabulaire technique qu'à la présentation et à l'organisation graphique de la clé.

Ayant apporté satisfaction aux participants sous cette forme (figure 26), cette clé peut encore être amenée à évoluer avant sa publication, tant en ce qui concerne son esthétique que son contenu.

# Clé de détermination des groupes de sensibilités stationnelles



## Consignes d'utilisation de la clé :

Chaque bloc dans les cadres bleus correspond à une question. Il convient alors de suivre la borne flèche (comme indiqué ci-dessous) en fonction de la réponse

- Réponse positive
- - - Réponse négative

Figure 26 : Clé de détermination des groupes stationnels (GS).

### 4.3.2. Rédaction de fiches synthétiques des groupes stationnels

Cœur de l'ouvrage, les fiches de groupes stationnels ont été élaborées en s'inspirant de celles des guides de choix des essences. Comme l'illustre la figure 27, la première partie reprend, pour chaque GS, leurs caractéristiques pédologiques (sol et humus), leur végétation spontanée (peuplement et flore), leur topographie et localisation géographique ainsi que les habitats rencontrés.

Quant aux recommandations d'exploitation, elles constituent la deuxième partie de la fiche. La forme des tableaux adoptés et l'utilisation des couleurs ont été raisonnées dans un souci d'efficacité de transmission de l'information.

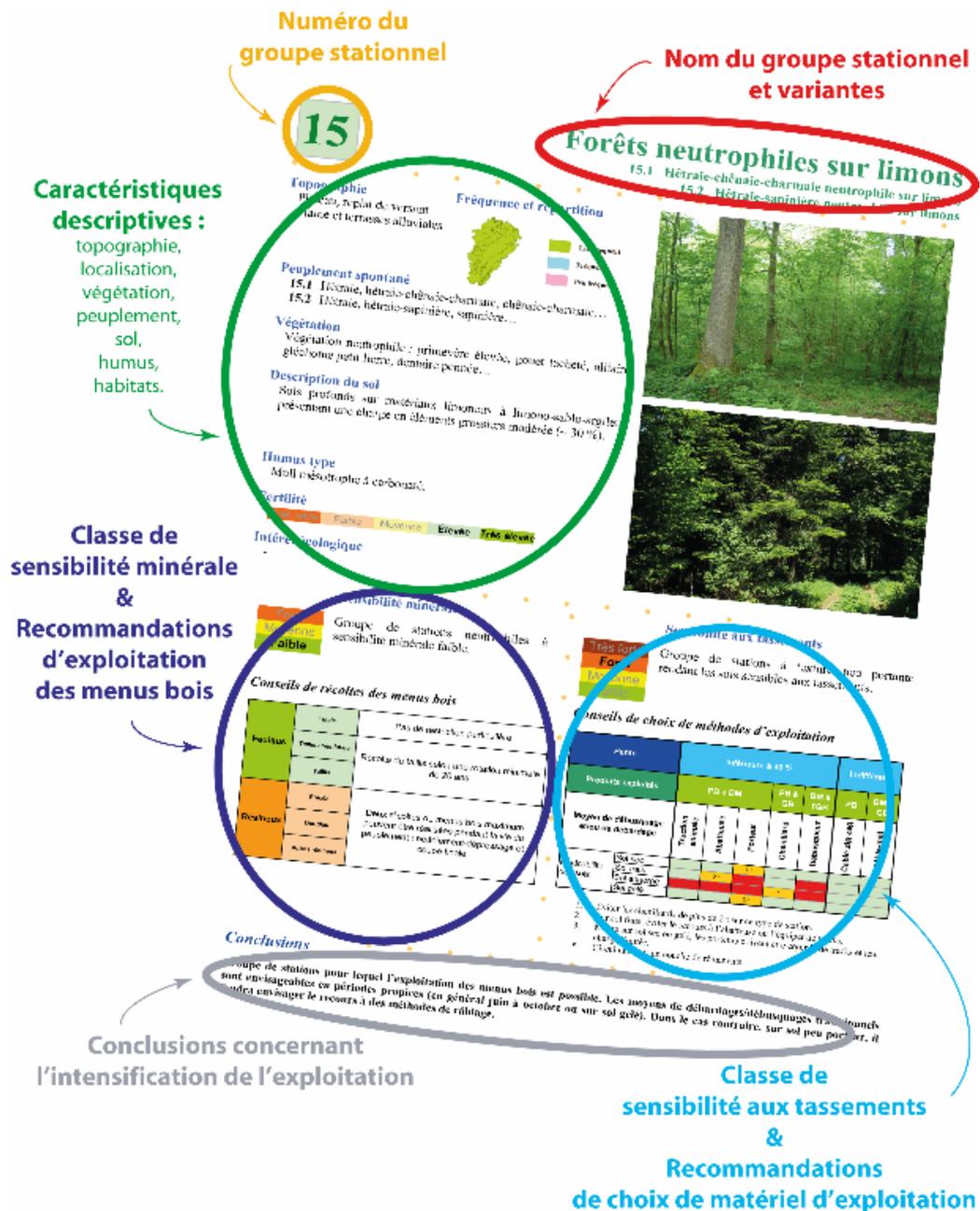


Figure 27 : Présentation des fiches descriptives de groupes stationnels (GS).

Avant leur publication, ces fiches seront soumises au comité de pilotage de l'étude en vue de son approbation. Elles seront également présentées lors de la journée de test auprès des propriétaires afin de s'assurer de leur efficacité et de leur performance. Cette réunion sera également l'occasion de juger du niveau de satisfaction des propriétaires envers cet outil de vulgarisation.

Les rectifications faites, l'ouvrage sera ensuite transmis à un bureau de graphisme qui en assurera la mise en forme avant sa publication prévue pour fin 2011-début 2012.

☞ *Ce qu'il faut retenir :*

Dans ce contexte d'intensification de l'exploitation lié à la récolte supplémentaire des menus bois pour une valorisation énergétique, la gestion durable des écosystèmes forestiers ne pourra être garantie que par une bonne organisation des chantiers et par l'adaptation du système d'exploitation aux conditions environnementales.

Il existe certes du matériel spécifiquement dédié à la récolte des menus bois de type fagoteuse, mais la majorité des chantiers d'exploitation fait appel, en France, à des engins de récolte "traditionnels" parmi lesquels le porteur et l'abatteuse sont actuellement les plus utilisés en plaine. En zone de montagne, l'utilisation du câble permet de débarder les arbres entiers ; les menus bois s'entassent alors sur la place de dépôt à proximité immédiate de la route accessible aux grumiers. Il serait alors injustifié de ne pas valoriser cette ressource dont les minéraux ne sont de toute façon plus utiles au reste du peuplement. En outre, des engins de débardage de plus petites dimensions (câble zigzag, petit chenillard), habituellement utilisés pour les petits bois, peuvent également servir efficacement pour valoriser cette ressource, notamment pour les sols forestiers les plus sensibles.

C'est ainsi qu'il a été envisagé de publier un guide de recommandations d'exploitation à destination des propriétaires pour qu'ils soient conscients des problèmes de tassement et d'appauvrissement de leurs sols. Axé autour d'une typologie de groupes stationnels (GS) et d'une clé de détermination, il conseille les propriétaires en termes d'intensité de prélèvement des menus bois et de choix de matériel. Déclinaison régionale des préconisations nationales, ce guide intègre au plus juste la situation des forêts franc-comtoises et s'attache à faire les correspondances avec les unités stationnelles (US) des guides de choix des essences déjà parus.

# CONCLUSION

Trop longtemps négligé, le sol constitue le principal facteur de production des écosystèmes forestiers. C'est de ses caractéristiques physiques et minérales que dépend l'état de ces milieux ; toute dégradation entraîne des conséquences non seulement environnementales mais également économiques et sociales. C'est pourquoi il est nécessaire d'appréhender la gestion des forêts de sorte à minimiser les perturbations imposées aux sols, d'autant plus que les effets des dégâts occasionnés se font ressentir sur des dizaines d'années... Ainsi, l'exploitation des bois doit être raisonnée et optimisée de sorte à en limiter les impacts négatifs.

À l'heure actuelle, les enjeux majeurs qui préoccupent les pédologues concernent les tassements et l'appauvrissement des sols forestiers. En effet, la mécanisation et le regain d'intérêt pour le bois énergie font peser des contraintes supplémentaires et donc des risques additionnels vis-à-vis du sol.

En matière d'exploitation, la minimisation des dégâts passe par l'évaluation de la sensibilité, l'adaptation du matériel et l'organisation temporelle et spatiale des chantiers (fréquence, intensité de prélèvement, plan de circulation des machines...). C'est ainsi que nombre d'études tendent à mieux connaître la problématique et à diffuser l'information pour apporter des réponses concrètes aux gestionnaires et aux propriétaires forestiers.

Poursuivant cette démarche, la région Franche-Comté a désiré se doter d'un document de vulgarisation concernant ces problématiques, basé sur une analyse poussée des caractéristiques pédologiques. L'objectif de ce guide d'aide à la décision est de conseiller les propriétaires et gestionnaires quant aux possibilités d'exploitation des menus bois et au matériel utilisable.

Soutenu par le conseil régional et l'ADEME et en partenariat avec l'ONF et le CRPF, ce projet a été porté par l'association PEFC de Franche-Comté.

Le protocole retenu a permis d'orienter les résultats vers deux objectifs complémentaires : des cartes régionales de sensibilité et des regroupements de stations forestières similaires quant à leurs caractéristiques et leurs sensibilités. Cette approche double a été adoptée pour répondre aux exigences des futurs utilisateurs. Les cartes seront destinées aux gestionnaires et exploitants forestiers afin de leur donner une vue globale des potentialités et des niveaux de sensibilité au niveau régional. En revanche du fait de la précision des données d'entrée, les résultats obtenus ne permettent pas d'affiner la décision au niveau de la parcelle ni même de la forêt, ce pour quoi l'approche stationnelle a été développée.

Élaborées à partir des données IFN disponibles sur la région, la réalisation des cartes a fait appel aux géostatistiques et notamment aux méthodes d'interpolation afin d'obtenir des cartes non plus ponctuelles mais régionales pour l'ensemble des paramètres retenus, à savoir les profondeurs d'hydromorphie et de la nappe permanente, la texture, la charge en éléments grossiers et le pH de l'humus. Les résultats cartographiques ont donné satisfaction et ont permis de hiérarchiser les zones à enjeux. A ainsi été démontré le potentiel remarquable de la Franche-Comté en termes d'exploitation des menus bois, cependant fortement nuancé par une sensibilité importante des sols aux tassements.

Quant à l'analyse des stations forestières, elle a abouti à la constitution de 19 groupes et d'une clé de détermination. Basé sur des analyses multivariées complétées par un reclassement « à dire d'experts », le classement final a ensuite fait l'objet de préconisations de prélèvements des menus bois et de conseils quant au choix du matériel le plus adéquat. La rédaction de fiches pour chacun des groupes stationnels ainsi que la clé de détermination constitueront le cœur même du guide de recommandations d'exploitation des menus bois qui devrait paraître d'ici la fin de l'année 2011.

À l'avenir, des améliorations devront être apportées aux conclusions de cette étude.

Elles devront notamment concerner le classement « à dire d'experts » dont le principal inconvénient est de ne pas être reproductible puisqu'il est basé sur des appréciations personnelles. Dans l'idéal, il serait nécessaire de disposer d'une base de données fiable, basée sur un échantillonnage représentatif de chacune des stations franc-comtoises, ce qui permettrait des analyses statistiques poussées. Dans la pratique, l'évolution des regroupements devrait pouvoir se baser sur le retour d'expérience acquis par l'utilisation de l'outil de vulgarisation sur le terrain.

Les cartes de sensibilités, élaborées à partir du maillage IFN, devront également être précisées. Elles ne permettent pour le moment qu'une approche globale dont l'objectif est de caractériser dans son ensemble les degrés de sensibilité de grandes régions naturelles. Pour en affiner le diagnostic, il faudra disposer d'une cartographie fine des sols ou des stations forestières sur la région franc-comtoise, ce qui n'est pas le cas à l'heure actuelle. Cette étape ne débutera qu'en 2012 et ne devrait concerner que deux régions IFN pilotes. Il semblerait, par ailleurs, judicieux d'intégrer l'évolution du zonage écologique de l'IFN afin de réfléchir les prochaines applications du guide en les calquant sur les sylvoécotégions.

Enfin, les préconisations d'exploitation seront également perfectibles sous l'effet conjoint de deux facteurs d'évolution. D'une part, de nouvelles expérimentations devraient pouvoir permettre de mieux appréhender les impacts des exploitations tant en termes de tassement que d'exportation minérale. D'autre part, l'évolution du machinisme forestier et le progrès technique peuvent conduire à la minimisation des perturbations. Les préconisations d'exploitation devront alors se faire le reflet des nouvelles connaissances et des nouveaux modes d'exploitation.

Au final, le résultat de cette étude laisse entrevoir des perspectives intéressantes quant à la maîtrise des moyens d'exploitations en forêt. Certes des améliorations probables seront possibles à l'avenir, notamment en termes de cartographie et de préconisation de récoltes des menus bois, mais le guide à paraître devrait déjà permettre de bien faire prendre conscience des menaces réelles sur la pérennité de nos sols forestiers comtois.

## BIBLIOGRAPHIE

- AgroParisTech-ENGREF (UMR LERFoB) et IFN. 2008 — *Guide simplifié d'utilisation de la carte des pH de surface des sols forestiers français, version 1, mars 2008, selon le document © accord AgroParisTech (UMR LERFoB) — IFN n° 2007-CPA-2-072 dans sa version d'avril 2007* — 28 p.
- AUGÉ (Vincent), BAILLY (Gilles) et LE JEAN (Yves). 2003 — *Guide simplifié des habitats forestiers comtois* — Besançon : SFFC, ONF, CRPF — 48 p.
- BAILLY (Gilles). 1998 — *Guide pour le choix des Essences en Plaine de Saône* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 28 p.
- BAILLY (Gilles). 1995 — *Catalogue des types de stations forestières de la Plaine de Saône* — Dijon : Centre d'études techniques forestières de la Côte d'Or — 312 p.
- BAILLY (Gilles). 1989 — *Catalogue des types de stations forestières du massif de Chaux* — Besançon : Université de Franche-Comté–Laboratoire de taxonomie expérimentale et de phytosociologie — 234 p. + atlas des plantes (96 p.).
- BAILLY (Gilles), AUGÉ (Vincent) et LE JEAN (Yves). 2002 — *Guide régional des habitats forestiers et associés à la forêt* — Besançon : SFFC, ONF, CRPF — 140 p.
- BARTOLI (Michel), VUILLERMOZ (Morgan), et LAURENT (Valérie). 2006 — *Le câble Zigzag : un outil de transport forestier original, simple et efficace. De la Suisse à la côte ouest des USA* — RenDez-Vous Technique, n° 12 — Office national des forêts — pp. 5-8.
- BEAUFILS (Thérèse). 2009 — *Catalogue des types de stations forestières du Sundgau et du Pays de Belfort et Montbéliard* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 228 p.
- BEAUFILS (Thérèse). 2008 — *Guide pour le choix des essences dans les Vosges comtoises et les Collines sous-vosgiennes* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 38 p.
- BEAUFILS (Thérèse). 2003 — *Typologie des stations forestières des collines sous-vosgiennes et des Vosges comtoises* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 274 p.
- BEAUFILS (Thérèse). 2001a — *Typologie des stations forestières des pentes intermédiaires jurassiennes et du deuxième plateau du Jura (Départements du Doubs et du Jura)* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 290 p.
- BEAUFILS (Thérèse). 2001b — *Guide pour le choix des essences sur les Pentés Intermédiaires Jurassiennes* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 32 p.
- BEAUFILS (Thérèse). 2001c — *Guide pour le choix des essences sur le Deuxième Plateau du Jura* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 32 p.
- BEAUFILS (Thérèse) et BAILLY (Gilles). 2007 — *Catalogue des types de stations forestières de la Petite Montagne* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 200 p.
- BEAUFILS (Thérèse) et BAILLY (Gilles). 1999a — *Guide pour le choix des essences sur les Premiers Plateaux du Doubs et du Jura* — Thise : Société forestière de Franche-Comté — 32 p.
- BEAUFILS (Thérèse) et BAILLY (Gilles). 1999b — *Guide pour le choix des essences sur les plateaux calcaires de Haute-Saône et les Avant-Monts occidentaux* — Thise : Société forestière de Franche-Comté — 28 p.

- BEAUFILS (Thérèse) et BAILLY (Gilles). 1998 — *Catalogue synthétique des stations forestières des plateaux calcaires franc-comtois à l'étage feuillu* — Thise : Société forestière de Franche-Comté — 196 p.
- BÉLOUARD (Thierry), LUCAS (Stéphanie), RICHTER (André) et PIERRAT (Delphine). 2007 — *Évaluer la ressource bois-énergie* — RenDez-Vous Technique, n° 15 — Office national des forêts — pp. 19-24.
- BONNEAU (Maurice) et RANGER (Jacques). 1999 — *Évolution de la fertilité chimique des sols forestiers. Recommandations pour une gestion durable* — La forêt privée, n° 247 — pp. 51-64.
- BRUCIAMACCHIE (Max), COSTA (Sandrine) et IBANEZ (Lisette). 2008 — *Analyse économique des coûts d'exploitation d'un chantier* — RenDez-Vous Technique, n° 19 — Office national des forêts — pp. 43-49.
- CACOT (Emmanuel). 2008a — *Observatoire des impacts de l'exploitation forestière* — RenDez-Vous Technique, n° 19 — Office national des forêts — pp. 26-29.
- CACOT (Emmanuel). 2008b — *Organisation des chantiers d'exploitation forestière « traditionnels »* — RenDez-Vous Technique, n° 19 — Office national des forêts — pp. 30-33.
- CACOT (Emmanuel), CHARNET (François), RANGER (Jacques), VIEBAN (Stéphane) et EISNER (Nicolas). 2003 — *Étude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt* — AFOCEL. Étude bibliographique : Rapport final — 72 p + annexes.
- CACOT (Emmanuel), CHARNET (François), RANGER (Jacques) et VIEBAN (Stéphane). 2004 — *Impact du prélèvement des rémanents en forêt* — AFOCEL. Fiche Forêt Information n° 686 — 6 p.
- CACOT (Emmanuel), CHARNET (François), EISNER (Nicolas), LEON (Pascal) et RANGER (Jacques). 2005 — *Exportation minérale et fertilité chimique des sols : travaux complémentaires en vue de la rédaction d'un guide pratique pour une récolte raisonnée des rémanents en forêt* — AFOCEL. Rapport final — 37 p + annexes.
- CACOT (Emmanuel), CHARNET (François), GRAFFIN (Ambroise), PITTOCCHI (Sophie), RANGER (Jacques) et RANTIEN (Caroline). 2007 — *Étude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt – volet 3* — FCBA. Rapport final — 61 p + annexes.
- CACOT (Emmanuel), EISNER (Nicolas), CHARNET (François), LEON (Pascal), RANTIEN (Caroline) et RANGER (Jacques). 2006 — *La récolte raisonnée des rémanents en forêt* — ADEME. Collection Connaître pour agir — 36 p.
- CAVAIGNAC (Sébastien). 2009 — *Les sylvoécotégions de France métropolitaine – Étude de définition* — IFN — 53 p + annexes.
- COLIN (Antoine), BARNÉRIAS (Cyrille), COULON (Frédéric), COUTURIER (Christian) et THIVOLLE-CAZAT (Alain). 2010 — *Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020* — ADEME. Note de synthèse de l'étude — 7 p.
- COLIN (Antoine), BARNÉRIAS (Cyrille), SALIS (Mireille), THIVOLLE-CAZAT (Alain), COULON (Frédéric), COUTURIER (Christian) et RANTIEN (Caroline). 2009 — *Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020* — ADEME. Rapport final — 75 p + annexes.
- CUCHET (E.), ROUX (P.) et SPINELLI (R.). 2003 — *Récolte des rémanents pour le bois-énergie avec le FIBERPAC* — AFOCEL. Fiche Forêt Information n° 669 — 6 p.

- DELPECH (R.), DUMÉ (G.) et GALMICHE (P.). 1985 — *Typologie des stations forestières –Vocabulaire* — Paris : Institut pour le développement forestier — 243 p.
- ECKERT (Thomas). 2004 — *Le débardage par câble en Franche-Comté* — Faculté forestière d'Autriche — 20 p. + annexes. (Rapport de stage).
- FORÊT (Marie) et DUMÉ (Gérard). 2006 — *Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences – Méthodes et recommandations pratiques ou guide-âne* — Inventaire forestier national — 224 p.
- FOUYER (Thierry) et VIRY (Bernard). 20086 — *Exploitation respectueuse des sols : des formations pour apprécier l'exploitabilité des coupes*— RenDez-Vous Technique, n° 21 — Office national des forêts — pp. 63-67.
- F&BE. 2011 — *Dossier de presse : conférence bois-énergie du 25 mars 2011* —Besançon : Forêt et Bois de l'Est — 19 p.
- GAUTRY (J.Y.). 2006 — *Impact sur la faune et la flore du prélèvement des rémanents en forêt – Étude bibliographique en vue de la rédaction d'un protocole expérimental* — AFOCEL — 33 p.
- GÉGOUT (Jean-Claude). 1992a — *Typologie des stations forestières de la Plaine de la Lanterne (Dépression périvosgienne)* — Nancy : École nationale du génie rural des eaux et des forêts — 118 p.
- GÉGOUT (Jean-Claude). 1992b — *Catalogue des stations forestières de la région des mille étangs* — Nancy : École nationale du génie rural des eaux et des forêts — 120 p.
- GÉGOUT (Jean-Claude), ALLEGRINI (Charles), DE BONNAFOS (Philippe), BROUILLET (L.), GIARD (D.) et MARIEL (A.). 1993 — *Le choix des essences forestières dans la région des mille-étangs* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 32 p.
- GINISTY (Christian), CHEVALIER (Hélène), VALLET (Patrick) et COLIN (Antoine). 2009 — *Évaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données de l'IFN "nouvelle méthode" – Actualisation 2009 de l'étude "biomasse disponible" de 2007* — Cemagref – IFN. Rapport final — 41 p + annexes.
- GOMES (Céline), FRANÇOIS (Damien) et LAURIER (Jean-Pierre). 2010 — *Guide des bonnes pratiques d'exploitation des bois destinés aux bioénergies* — UCFF – FCBA. Programme REGIX, volet 2 — 20 p.
- GOMES (Céline), FRANÇOIS (Damien), LAURIER (Jean-Pierre) et GARDETTE (Yves-Marie). 2010 — *Évaluation Bilans écologiques d'exploitation des forêts pour la plaquette forestière* — UCFF – FCBA – ONF. Programme REGIX, volet 2 — 15 p.
- GRAFFIN (Ambroise). 2007 — *Panorama de la filière bois-énergie en France* — RenDez-Vous Technique, n° 15 — Office national des forêts — pp. 14-18.
- GRULOIS (S.), DESCROIX (L.), FAY (J.), GOMES (C.), MAGAUD (P.) et PERINOT (C.). 2009 — *MOBIPE – Test des nouvelles méthodes d'exploitation* — FCBA, ONF et UCFF — 30 p + annexes.
- JABIOL (Bernard), RANGER (Jacques) et RICHTER (Claudine). 2000 — *Sol sensible ou résistant ? Éléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique* — La forêt privée, n° 253 — pp. 30-46.
- KLOTZ (Jérôme). 2011 — *Les perspectives d'évolution des besoins de la filière bois-énergie et de la filière bois d'industrie dans le grand-Est* — conférence sur le bois-énergie du 25 mars 2011 — Besançon : Forêt et Bois de l'Est — 6 diapositives.

- LAMANDÉ (Mathieu), RANGER (Jacques) et LEFÈVRE (Yves). 2005 — *Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols* — Paris : ONF et INRA. Collection Les dossiers forestiers — 131 p.
- LANDMANN (Guy). 2000 — *Le suivi des sols forestiers en France* — La forêt privée, n° 254 — pp. 55-62.
- LÉCHINE (Patrick). 2011 — *Guide pour le choix des essences Sundgau - PBM* — compte-rendu de la réunion du 6 janvier 2011 — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 1 p + annexes.
- LEFÈVRE (Yves) et RANGER (Jacques). 2004 — *Pour une exploitation respectueuse des sols et des cours d'eau* — conférence sur les débardages alternatifs.
- MADESCLAIRE (Anne). 1995 — *Le choix des essences forestières dans les Vosges cristallines lorraine* — Le Ban Saint-Martin : Centre régional de la propriété forestière de Lorraine-Alsace — 50 p.
- MATTHIES (Dietmar), ZIESAK (Martin) et KREMER (Johann). 2006 — *Le logiciel Profor® : un outil de prévention pour juger de la praticabilité des sols lors de l'exploitation forestière* — RenDez-Vous Technique, n° 14 — Office national des forêts — pp. 3-8.
- MOUREY (Jean-Michel). 2008 — *Positionnement de l'ONF pour une exploitation respectueuse des sols* — RenDez-Vous Technique, n° 19 — Office national des forêts — pp. 24-25.
- NICLOUX (Claude) et DIDIER (Bernard). 1988 — *Catalogue des stations forestières de la Bresse centrale et méridionale* — Pierre de Bresse : Écomusée de la Bresse bourguignonne — 299 p. + annexes.
- NICOLAS (Manuel), CHARNET (François), RANGER (Jacques), RANTIEN (Caroline), BRETHERS (Alain), MENGIN-LECREULX (Patrice) et SARDIN (Thierry). 2007 — *Bois-énergie : maîtriser les impacts* — RenDez-Vous Technique, n° 15 — Office national des forêts — pp. 36-45.
- NYS (C.), BONNEAU (M.) et PICARD (J.-F.). 2000 — *Amendements et fertilisants associés : remèdes pour une meilleure fertilité chimique des sols forestiers* — La forêt privée, n° 252 — pp. 51-61.
- OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. 2009 — *Sensibilité des sols à l'exportation minérale et au tassement par les engins* — Note de service n° 09 – 139 — 4 p. + annexes.
- OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, COSYLVAL et FOR'EST BOIS ÉTUDES & ENVIRONNEMENT. 2010 — *Étude concernant la valorisation énergétique des bois rémanents, bois d'éclaircie, bois mitrillés, bois de pente sur le Pays Thur-Doller* — 55 p.
- PEETERS (Joseph). 2004 — *La mécanisation de l'exploitation en zone de forte pente* — AFOCEL. Fiche Forêt Information n° 699 — 6 p.
- PERRIER (Patricia) et RUFFALDI (Pascale). 1986 — *Catalogue des types de stations forestières de la dépression périvosgienne (Haute-Saône)* — Besançon : Université de Franche-Comté — 348 p. + document annexe : potentialités des stations.
- PISCHEDDA (Didier). 2008 — *Évolution des systèmes de mobilisation et protection du sol : quels sont les perspectives ?* — RenDez-Vous Technique, n° 19 — Office national des forêts — pp. 50-54.
- PISCHEDDA (Didier), BARTOLI (Michel), BRÊTHES (Alain), CACOT (Emmanuel), CHAGNON (Jean-Luc), GAUQUELIN (Xavier), NICOLAS (Manuel) et RICHTER (Claudine). 2009 — *Guide pratique – Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL »* — Office national des forêts et FCBA — 110 p.
- PISCHEDDA (Didier), BARTOLI (Michel) et CHAGNON (Jean-Luc). 2008 — *Pour une exploitation respectueuse des sols, des systèmes complémentaires existent* — RenDez-Vous Technique, n° 19 — Office national des forêts — pp. 34-42.

- PONGE (Jean-François). 1999 — *Biodégradation des sols forestiers : causes et remèdes* — La forêt privée, n° 248 — pp. 55-60.
- RENOUF (Laurent). 2009 — *La conciliation de l'exploitation forestière et du respect des sols : un exemple concret en Picardie* — Nancy : École nationale du génie rural des eaux et forêts — 73 p. + annexes (Mémoire de fin d'études).
- RICHTER (Claudine). 1999 — *Mieux respecter les sols forestiers lors des opérations mécanisées : un enjeu de gestion durable* — La forêt privée, n° 249 — pp. 51-58.
- ROUYER (Emmanuel). 2007 — *Évaluation de la sensibilité des sols aux tassements lors des exploitations en forêt dite humide : cas particulier du massif de la Reine (54)* — Mirecourt : LEGTA des Vosges — 32 p. + annexes et cartes. (Rapport de stage BTS Gestion Forestière).
- SOCIÉTÉ FORESTIÈRE DE FRANCHE-COMTÉ. 1997 — *Les catalogues de Stations Forestières en Franche-Comté* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 4 p.
- STAUB (Julien). 2009 — *Sensibilité des sols forestiers au tassement en Lorraine – Cartographie et outils techniques de mise en œuvre* — Nancy : École nationale du génie rural des eaux et forêts — 77 p. + annexes (Mémoire de fin d'études).
- ZIPPER (Alain). 2010 — *Guide pour le choix des essences dans la Vallée de l'Ognon* — Besançon : Société forestière de Franche-Comté — 24 p.
- ZIPPER (Alain). 2008 — *Catalogue synthétique des stations forestières de la vallée de l'Ognon* — Besançon : Office national des forêts — 42 p.

## SITES INTERNET

- AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE. Consulté le 12 février 2011. Adresse URL : <http://www.ademe.fr>
- AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE. *Évaluation du potentiel bois énergie*. Consulté le 12 février 2011. Adresse URL : <http://www.boisenergie.ifn.fr/index.php>
- AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE. *Évaluation du gisement de bois pour l'énergie*. Consulté le 12 février 2011. Adresse URL : <http://www.dispo-boisenergie.fr/>
- FORÊT CELLULOSE BOIS AMEUBLEMENT. Consulté le 11 avril 2011. Adresse URL : <http://www.fcba.fr>
- FORÊT CELLULOSE BOIS AMEUBLEMENT. *Récolter des bioénergies d'origine forestière en montagne*. Consulté le 11 avril 2011. Adresse URL : <http://www.fcbainfo.fr/pages/page191.php>
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. Consulté le 9 février 2011. Adresse URL : <http://www.ifn.fr/spip/>
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. *Téléchargement des données brutes*. Consulté le 9 février 2011. Adresse URL : <http://www.ifn.fr/spip/?rubrique153>
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL. *Les découpages écoforestiers*. Consulté le 9 février 2011. Adresse URL : <http://www.ifn.fr/spip/?rubrique79>
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT – OBSERVATOIRE ET STATISTIQUE DE L'ENVIRONNEMENT. *Les produits CORINE Land Cover*. Consulté le 16 février 2011. Adresse URL : [http://www.stats.environment.developpement-durable.gouv.fr/clc/CORINE\\_Land\\_Cover\\_-\\_Condition\\_Utilisation.htm](http://www.stats.environment.developpement-durable.gouv.fr/clc/CORINE_Land_Cover_-_Condition_Utilisation.htm)

# LISTE DES CONTACTS

| NOM                  | Organisme   | Fonction   | Tél.           | E-mail   | Adresse  |
|----------------------|---|--|----------------|--|--|
| ABT Dominique        | Office national des forêts  | Responsable service forêt  | 03 81 65 08 68 | <a href="mailto:dominique.abt@onf.fr">dominique.abt@onf.fr</a>                                     | 14, rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                     |
| BAILLY Gilles        | Bureau d'étude PHYTOLAB   | Entrepreneur   | 03 84 71 14 66 | <a href="mailto:Gilles.Bailly3@wanadoo.fr">Gilles.Bailly3@wanadoo.fr</a>                           | 5 route des Foiges<br>39 700 Dampierre   |
| BEAUFILS Thérèse     | Office national des forêts  | Chargé d'études  |                | <a href="mailto:therese.beaufils@onf.fr">therese.beaufils@onf.fr</a>                               | 14 rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                      |
| BOQUET Jean-François | Office national des forêts  | Directeur développement  | 03 81 65 08 70 | <a href="mailto:jboquet@onf.fr">jboquet@onf.fr</a>   | 14 rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                      |
| CACOT Emmanuel       | FCBA Centre-Ouest   | Ingénieur forestier  | 05 55 48 48 10 | <a href="mailto:emmanuel.cacot@fcba.fr">emmanuel.cacot@fcba.fr</a>                                 | Domaine des Vaseix<br>87430 Vemeuil-sur-Vienne                                   |
| CARMINATI Michel     | Centre de Formation Professionnel et de Promotion Agricole de Châteaufarine | Formateur  | 03 81 41 85 28 | <a href="mailto:michel.carminati@educagri.fr">michel.carminati@educagri.fr</a>                     | 10 rue François Villon<br>BP 65 809<br>25 058 Besançon Cedex 5                   |
| CERF Jean-François   | Office national des forêts  | Directeur sylviculture   |                | <a href="mailto:jean-francois.cerf@onf.fr">jean-francois.cerf@onf.fr</a>                           | 14 rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                      |
| CHANTERANNE Damien   | Centre régional de la propriété forestière de Franche-Comté                 | Ingénieur forestier départemental de Haute-Saône et du Territoire de Belfort | 03 84 58 09 17 | <a href="mailto:damien.chanteranne@crpf.fr">damien.chanteranne@crpf.fr</a>                         | 6 rue Proudhon<br>90000 Belfort  |
| CLERC Emmanuel       | Forêt et Bois de l'Est  | Responsable de l'agence de Besançon  | 06 72 00 58 17 | <a href="mailto:emmanuel.clerc@foretsetboisdelest.com">emmanuel.clerc@foretsetboisdelest.com</a>   | 83 rue de Dole<br>Bâtiment "Le Major"<br>25000 Besançon                          |
| GOUTALAND Sophie     | ADEME   | En charge des énergies renouvelables   | 03 81 25 50 14 | <a href="mailto:sophie.goutaland@ademe.fr">sophie.goutaland@ademe.fr</a>                           | 25 rue Gambetta - BP 2636<br>25018 Besançon cedex 6                              |
| GUILBAUD Laurent     | Office national des forêts  | Stigiste   |                | <a href="mailto:laurent.guilbaud@onf.fr">laurent.guilbaud@onf.fr</a>                               | 14, rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                     |
| JANEX François       | Centre régional de la propriété forestière de Franche-Comté                 | Directeur  | 03 81 51 98 01 | <a href="mailto:francois.janex@crpf.fr">francois.janex@crpf.fr</a>                                 | Maison de la forêt et du bois<br>20 rue François-Villon<br>25041 Besançon cedex  |
| LEBRET Laurence      | Forêt et Bois de l'Est  | Ingénieur responsable du développement territorial                           | 03 81 40 16 81 | <a href="mailto:laurence.lebret@foretsetboisdelest.com">laurence.lebret@foretsetboisdelest.com</a> | 83 rue de Dole<br>Bâtiment "Le Major"<br>25000 Besançon                          |
| LECHINE Patrick      | Centre régional de la propriété forestière de Franche-Comté                 | Ingénieur forestier régional   | 03 81 51 98 05 | <a href="mailto:patrick.lechine@crpf.fr">patrick.lechine@crpf.fr</a>                               | Maison de la forêt et du bois<br>20 rue François-Villon<br>25041 Besançon cedex  |
| LEFÈVRE Sabine       | Chambre d'agriculture du Doubs  | Conseiller forestier   | 03 81 65 52 58 | <a href="mailto:s.lefevre.cda-25@agrdoubs.com">s.lefevre.cda-25@agrdoubs.com</a>                   | 130bis rue de Belfort<br>25021 Besançon cedex                                    |
| LEFÈVRE Stéphane     | PEFC Franche-Comté  | Chargé de mission PEFC   | 03 81 47 11 60 | <a href="mailto:steph.lefevre@pefc-fr.com">steph.lefevre@pefc-fr.com</a>                           | Maison de la forêt et du bois<br>20 rue François-Villon<br>25041 Besançon cedex  |
| LEPLAIDEUR Thomas    | Chambre d'agriculture du Jura   | Conseiller forestier   | 03 84 52 45 46 | <a href="mailto:Thomas.Lepelaideur@jura.chambagri.fr">Thomas.Lepelaideur@jura.chambagri.fr</a>     | 272 rue du Mont Rivel<br>39300 Champagnole                                       |
| LUCOT Éric           | Université de Franche-Comté   | Enseignant chercheur en pédologie  | 03 81 66 57 82 | <a href="mailto:eric.lucot@univ-fcomte.fr">eric.lucot@univ-fcomte.fr</a>                           | La Bouloie - UFR Sciences et Techniques<br>16 route de Gray 25030 Besançon cedex |
| MARTIGNÈNE Éric      | Office national des forêts  | Service forêt  |                | <a href="mailto:eric.martignene@onf.fr">eric.martignene@onf.fr</a>                                 | Rue Georges Ponsot - BP 80054<br>70001 Vesoul cédex                              |
| OUDET Michel         | Office national des forêts  | Service Aménagement-Bois   |                | <a href="mailto:michel.oudet@onf.fr">michel.oudet@onf.fr</a>                                       | 14, rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                     |
| PEROUX Sandra        | Centre régional de la propriété forestière de Franche-Comté                 | Ingénieur environnement  | 03 81 51 98 06 | <a href="mailto:sandra.peroux@crpf.fr">sandra.peroux@crpf.fr</a>                                   | Maison de la forêt et du bois<br>20 rue François-Villon<br>25041 Besançon cedex  |
| POUCHOULOU Stéphane  | Coforet   | Ingénieur responsable des aménagements                                       | 06 08 67 53 80 | <a href="mailto:spouchoulou@coforet.com">spouchoulou@coforet.com</a>                               | 113 bis rue de Belfort<br>25021 Besançon   |
| RANTJEN Caroline     | ADEME   |  | 02 41 20 43 16 | <a href="mailto:caroline.rantjen@ademe.fr">caroline.rantjen@ademe.fr</a>                           |  |
| WILMSMEIER Eike      | Office national des forêts  | Responsable s service forêt  |                | <a href="mailto:eike.wilmsmeier@onf.fr">eike.wilmsmeier@onf.fr</a>                                 | Rue Georges Ponsot - BP 80054<br>70001 Vesoul cédex                              |
| ZIPPER Alain         | Office national des forêts  | Chargé d'études  | 03 81 65 78 16 | <a href="mailto:alain.zipper@onf.fr">alain.zipper@onf.fr</a>                                       | 14, rue Gabriel Plançon - BP 51581<br>25010 Besançon cedex 3                     |

# LEXIQUE

**Altération** : flux d'élément libéré lors de la dissolution des minéraux du sol et de la roche-mère.

**Débardage** : transfert des bois courts par portage entre la zone où ils ont été abattus, ou celle où ils ont été débusqué, et un lieu accessible aux camions.

**Débusquage** : transfert des bois par traînage entre la zone où ils ont été abattus et un lieu et un lieu où ils peuvent être repris par un tracteur forestier.

**Horizon** : couche élémentaire d'un sol plus ou moins parallèle à la surface du sol et d'épaisseur variable.

**Interpolation spatiale** : méthode de calcul permettant la prédiction des valeurs inconnues d'un paramètre à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnages spatialisés (géoréférencés) pour lesquels les valeurs de ce même paramètres sont, elles, connues. Ce type de calcul nécessite des données d'entrée numérique.

**Minéralisation** : flux d'élément libéré lors de la dégradation des couches de la litière (humus) sous l'effet de l'activité biologique et des conditions climatologiques.

**Menu bois** : branche de moins de 7 cm de diamètre habituellement laissée sur coupe (rémanent) mais mobilisée dans un but de production quelconque, le plus souvent à des fins énergétiques.

**Minéralomasse** : teneur en éléments minéraux.

**Rémanent** : branche de moins de 7 cm de diamètre laissée sur coupe.

**Système d'exploitation** : ensemble des processus de récolte des bois (méthode, matériel, organisation).

## TABLE DES ANNEXES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>TABLE DES ANNEXES.....</b>  | <b>71</b> |
| <b>Annexe 1 : Tables de reclassement pour le traitement cartographique des données géoréférencées de l'inventaire forestier national. ....</b> | <b>72</b> |
| <b>Annexe 2 : Table de recodage des données qualitatives en données quantitatives pour les analyses multivariées. ....</b>                     | <b>74</b> |
| <b>Annexe 3 : Tableau récapitulatif des sensibilités minérales et physiques des stations forestières franc-comtoises.....</b>                  | <b>75</b> |
| <b>Annexe 4 : Cartes des sensibilités des sols forestiers aux tassements et à l'exportation minérale. ....</b>                                 |           |
| <b>Annexe 5 : Clé de détermination du guide de recommandations d'exploitation des menus bois. ....</b>   |           |

## Annexe 1 : Tables de reclassement pour le traitement cartographique des données géoréférencées de l'inventaire forestier national.

**Table de reclassement concernant la charge en éléments grossiers.**

| CAILLOUX (classe IFN) | C_cailloux (%) |
|-----------------------|----------------|
|                       | -9999          |
| 0                     | 2,5            |
| 1                     | 9,5            |
| 2                     | 19,5           |
| 3                     | 29,5           |
| 4                     | 39,5           |
| 5                     | 49,5           |
| 6                     | 59,5           |
| 7                     | 69,5           |
| 8                     | 79,5           |
| 9                     | 89,5           |
| 10                    | 99,5           |

**Table de reclassement concernant la profondeur d'apparition du gley.**

| PGLEY (classe IFN) | P_Gley (cm) |
|--------------------|-------------|
| 0                  | 2,5         |
| 1                  | 9,5         |
| 2                  | 19,5        |
| 3                  | 29,5        |
| 4                  | 39,5        |
| 5                  | 49,5        |
| 6                  | 59,5        |
| 7                  | 69,5        |
| 8                  | 79,5        |
| 9                  | 92,5        |
|                    | 100         |

**Table de reclassement concernant la profondeur des horizons TEXT1 et TEXT2.**

| PROF (classe IFN) | R_PROF (cm) |
|-------------------|-------------|
| 0                 | 2,5         |
| 1                 | 9,5         |
| 2                 | 19,5        |
| 3                 | 29,5        |
| 4                 | 39,5        |
| 5                 | 49,5        |
| 6                 | 59,5        |
| 7                 | 69,5        |
| 8                 | 79,5        |
| 9                 | 100         |

**Table de reclassement concernant la profondeur d'apparition du pseudogley.**

| PPSEUDO (classe IFN) | P_Pseudogley (cm) |
|----------------------|-------------------|
| 0                    | 2,5               |
| 1                    | 9,5               |
| 2                    | 19,5              |
| 3                    | 29,5              |
| 4                    | 39,5              |
| 5                    | 49,5              |
| 6                    | 59,5              |
| 7                    | 69,5              |
| 8                    | 79,5              |
| 9                    | 92,5              |
|                      | 100               |

**Table de reclassement concernant la profondeur d'apparition des traces d'oxydation.**

| POX (classe IFN) | P_Oxydation (cm) |
|------------------|------------------|
| 0                | 2,5              |
| 1                | 9,5              |
| 2                | 19,5             |
| 3                | 29,5             |
| 4                | 39,5             |
| 5                | 49,5             |
| 6                | 59,5             |
| 7                | 69,5             |
| 8                | 79,5             |
| 9                | 92,5             |
|                  | 100              |

**Table de reclassement attribuant une valeur de pH à chaque type d'humus.**

| Humus (classe IFN) | pH_Eval |
|--------------------|---------|
| 10                 | 3,75    |
| 15                 | -9999   |
| 18                 | 3,75    |
| 20                 | 4,25    |
| 21                 | 3,75    |
| 22                 | 4,75    |
| 25                 | -9999   |
| 28                 | 4,25    |
| 30                 | 4,75    |
| 31                 | 5,25    |
| 40                 | 5,75    |
| 42                 | -9999   |
| 45                 | 7,25    |
| 48                 | -9999   |
| 50                 | 6,25    |
| 55                 | 7,25    |
| 80                 | -9999   |
| 81                 | -9999   |
| 99                 | -9999   |

**Table de reclassement attribuant à chaque texture la part en sable, argile et limon de l'horizon.**

| TEXT (classe IFN) | P_Sable (%) | P_Argile (%) | P_Limon (%) |
|-------------------|-------------|--------------|-------------|
| 1                 | 87,35       | 5,3          | 7,35        |
| 2                 | 67,5        | 6,25         | 26,25       |
| 3                 | 68,37       | 18,25        | 13,38       |
| 4                 | 37,25       | 12,27        | 50,48       |
| 5                 | 17,5        | 23,75        | 58,75       |
| 6                 | 7,5         | 8,75         | 83,75       |
| 7                 | 10          | 37,5         | 52,5        |
| 8                 | 44,42       | 35,64        | 19,94       |
| 9                 | 18,33       | 63,34        | 18,33       |

**Table de choix de la texture à retenir pour la description du sol du relevé.**

|        |   | TEXT 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--------|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|        |   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| TEXT 2 | 1 | 1      | M | M | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|        | 2 | M      | 2 | M | 4 | 5 | 6 | 2 | 2 | 2 |
|        | 3 | M      | M | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 3 |
|        | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | M | M | 4 | 4 | 4 |
|        | 5 | 5      | 5 | 5 | M | 5 | M | 5 | 5 | 5 |
|        | 6 | 6      | 6 | 6 | M | M | 6 | 6 | 6 | 6 |
|        | 7 | 7      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | M | M |
|        | 8 | 8      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | M | 8 | M |
|        | 9 | 9      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | M | M | 9 |

M : moyenne pondérée par l'épaisseur de l'horizon des pourcentages de chaque constituant

**Table de reclassement attribuant à chaque texture une évaluation du pH.**

| Texture   | Part d'argile | pH_Eval |
|-----------|---------------|---------|
| Sableuse  | < 10%         | 4       |
| Limoneuse | [10% ; 25%]   | 5       |
| Argileuse | > 25%         | 6       |

**Annexe 2 : Table de recodage des données qualitatives en données quantitatives pour les analyses multivariées.**

**Table de recodage concernant les humus**

|                  |    |
|------------------|----|
| Tourbe           | 1  |
| Anmoor           | 2  |
| Mor              | 3  |
| Hydromor         | 4  |
| Dysmoder         | 5  |
| Moder            | 6  |
| Hydromoder       | 7  |
| Mullmoder        | 8  |
| Dysmull          | 9  |
| Mull oligotrophe | 10 |
| Amphimull        | 11 |
| Mull mésotrophe  | 12 |
| Mull eutrophe    | 13 |
| Mull calcique    | 14 |
| Mull carbonaté   | 15 |
| Hydromull        | 16 |
| Néant            | 17 |

**Table de recodage concernant la texture (la plus sensible) du sol**

|        |    |
|--------|----|
| Tourbe | 1  |
| LSA    | 2  |
| LAS    | 3  |
| LA     | 4  |
| LmS    | 5  |
| LS     | 6  |
| Lm     | 7  |
| LI     | 8  |
| LIS    | 9  |
| SL     | 10 |
| SA     | 11 |
| AL     | 12 |
| ALS    | 13 |
| AS     | 14 |
| Alo    | 15 |
| S      | 16 |

### Annexe 3 : Tableau récapitulatif des sensibilités minérales et physiques des stations forestières franc-comtoises.

| Région          | Catalogues de stations forestières |  | Sensibilité   |                    |         |
|-----------------|------------------------------------|--|---|--------------------|---------|
|                 | S                                  | Dénomination   | Aux tassements  | A l'export minéral |         |
| Massif de Chaux | 111.1                              | Stations mésoacidiphiles sur pseudogleys appauvris sur fragipan  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 111.2                              | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns acides appauvris à pseudogley superficiel sur fragipan   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 112.11                             | Stations mésoacidiphiles sur sols à pseudogley assez superficiel   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 112.12                             | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns acides appauvris sur fragipan assez superficiel  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 112.21                             | Stations mésoacidiphiles sur sols à pseudogley assez profond   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 112.22                             | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns acides appauvris sur fragipan assez profond  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 113.1                              | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns acides appauvris sur pseudogley ou fragipan profond  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 113.2                              | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns acides profonds  | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 121.1                              | Aulnaies acidoclines à lâche allongée  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 121.2                              | Aulnaies-saulaies-boulaies mésoacidiphiles à agrostis des chiens et sphaignes  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 121.3                              | Aulnaies-chênaies pédonculées mésoacidiphiles à acidoclines à crin végétal   | Forte   | Faible             |         |
|                 | 122.1                              | Chênaies pédonculées-tremblaies mésoacidiphiles à crin végétal sur pseudogley  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 122.2                              | Chênaies pédonculées-tremblaies-charmaies mésoacidiphiles à crin végétal sur pseudogley  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 123.1                              | Chênaies pédonculées-charmaies à crin végétal sur sols bruns appauvri à pseudogley   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 123.2                              | Chênaies pédonculées-aulnaies-charmaies à crin végétal sur sols bruns alluviaux à gley   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 124.1                              | Stations mésoacidiphiles à crin végétal sur sols bruns appauvris à pseudogley profond  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 124.2                              | Stations mésoacidiphiles à crin végétal sur sols bruns   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 125                                | Chênaies pédonculées-aulnaies-charmaies neutroacidoclines sur sols bruns alluviaux limono-sableux  | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 211.1                              | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns lessivés complexes sur cailloutis  | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 211.2                              | Stations acidoclines sur sols bruns lessivés complexes sur cailloutis  | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 220                                | Aulnaies-(chênaies pédonculées) neutroacidoclines sur sol alluvial limono-sableux-graveleux  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 221.1                              | Aulnaies-chênaies pédonculées mésoacidiphiles à acidoclines à crin végétal   | Forte   | Faible             |         |
|                 | 221.2                              | Tremblaies-chênaies pédonculées-aulnaies mésoacidiphiles à sphaignes et agrostis des chiens  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 222.1                              | Chênaies pédonculées-tremblaies mésoacidiphiles à crin végétal sur pseudogley  | Forte   | Forte              |         |
|                 | 222.2                              | Chênaies pédonculées-tremblaies-charmaie mésoacidiphiles à crin végétal sur pseudogley   | Forte   | Forte              |         |
|                 | 223                                | Chênaies pédonculées-charmaies mésoacidiphiles à crin végétal sur sols appauvris complexes à pseudogley                                    | Forte   | Forte              |         |
|                 | 224.1                              | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns limoneux superficiels sur galets   | Faible  | Faible             |         |
|                 | 224.21                             | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns limoneux épais sur cailloutis  | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 224.22                             | Stations acidocline sur sols bruns limoneux épais sur cailloutis   | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 224.23                             | Stations neutroacidocline sur sols bruns limoneux épais sur cailloutis   | Forte   | Faible             |         |
|                 | 2b21                               | Chênaies pédonculées-aulnaies-(frênaies) mésoneutrophile à neutrophile sur gley oxydé  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 2b22                               | Chênaies pédonculées-charmaies neutroacidoclines à mésoneutrophiles, à aune et érable sur sols bruns alluviaux hydromorphes                | Forte   | Faible             |         |
|                 | 311                                | Chênaie sessiliflore hyperacidophile xérique   | Faible  | Forte              |         |
|                 | 312                                | Hêtraie-chênaie sessiliflore acidiphile à mésoacidiphile mésoxérique   | Faible  | Forte              |         |
|                 | 313                                | Stations mésoacidiphiles sur sols bruns acides complexes sur cailloutis  | Faible  | Moyenne            |         |
|                 | 314.1                              | Stations acidoclines sur sols bruns lessivés complexes limoneux  | Faible  | Faible             |         |
|                 | 314.2                              | Stations neutroacidoclines sur sols bruns complexes limoneux   | Faible  | Faible             |         |
|                 | 401.1                              | Aulnaie-saulaie mésoacidiphiles marécageuse à molinie bleue et calamagrostis   | Très forte  | Forte              |         |
|                 | 401.2                              | Aulnaie-saulaie mésoacidiphiles marécageuse à agrostis des chiens et lâche étoilée   | Très forte  | Forte              |         |
|                 | 402.1                              | Aulnaie-saulaie-(frênaie) mésoneutrophile à cerisier à grappes et nivéole  | Très forte  | Forte              |         |
|                 | 402.2                              | Frênaie mésoneutrophile à cerisier à grappes et nivéole  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 403                                | Aulnaie marécageuse acidocline à mésoneutrophile à population et grandes lâches  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 404.1                              | Aulnaie-(frênaie) acidocline ) neutroacidocline à scirpe des bois et lâche des marais  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 404.2                              | Aulnaie acidocline à crin végétal  | Très forte  | Forte              |         |
|                 | 511.1                              | Chênaie pédonculée-frênaie-charmaie calcicole sur pèlosol carbonaté à pseudogley   | Forte   | Faible             |         |
|                 | 511.2                              | Chênaie pédonculée-frênaie-charmaie neutrophile sur pèlosol à pseudogley   | Forte   | Faible             |         |
|                 | 521                                | Aulnaie marécageuse à lâche élevée   | Très forte  | Forte              |         |
|                 | 522                                | Aulnaie-frênaie calcicole à neutrophile, à lâche espacée sur gleys oxydés  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 523                                | Chênaie pédonculée-frênaie-charmaie calcicole à lâche penchée sur pseudogley argileux carbonaté  | Forte   | Faible             |         |
|                 | 524                                | Chênaie-charmaie neutrophile sur sol brun argileux   | Moyenne   | Faible             |         |
|                 | 611.1                              | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrocalcicole sur sol brun argileux à altération pelliculaire d'épaisseur moyenne                               | Faible  | Faible             |         |
|                 | 611.2                              | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrocalcicole à mercuriale sur sol brun argileux à altération pelliculaire superficiel                          | Faible  | Faible             |         |
|                 | 621                                | Chênaie-tillaie neutrocalciphile sur versants de dolines, sur sol brun argileux sur matériau colluvial                                     | Faible  | Faible             |         |
|                 | 711                                | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoacidiphile sur sols bruns acides sur couvertures épaisses de limons à chailles                                | Forte   | Moyenne            |         |
|                 | 712.5                              | Hêtraie-chênaie-charmaie acidocline à neutroacidocline sur sols bruns lessivés complexes sur marnes ou marno-calcaires                     | Moyenne   | Faible             |         |
|                 | 712.6                              | Hêtraie-chênaie-charmaie acidocline à neutroacidocline sur sols bruns lessivés complexes sur argiles de décarbonatation sur dalle calcaire | Moyenne   | Faible             |         |
|                 | 721                                | Chênaie-charmaie mésoneutrophile sur sols colluviaux brunifiés lessivés de remplissage karstique   | Forte   | Faible             |         |
|                 | Mille-étangs                       | 1  | Chênaie sessiliflore-hêtraie acidiphile sur ranker                                  | Faible             | Forte   |
|                 |                                    | 2  | Chênaie sessiliflore-hêtraie xerocline sur sol superficiel                          | Faible             | Forte   |
|                 |                                    | 3A   | Hêtraie-chênaie sessiliflore acidiphile (sous type à sol podzolique)                | Faible             | Forte   |
|                 |                                    | 3B   | Hêtraie-chênaie sessiliflore acidiphile (sous type à sol Brun Lessivé)              | Forte              | Forte   |
|                 |                                    | 4A   | Hêtraie-chênaie sessiliflore mésoacidiphile (sous type à végétation acidiphile)     | Forte              | Forte   |
|                 |                                    | 4B   | Hêtraie-chênaie sessiliflore mésoacidiphile (sous type à végétation mésoacidiphile) | Forte              | Moyenne |
|                 |                                    | 5  | Chênaie mixte-hêtraie-charmaie  | Forte              | Moyenne |
|                 |                                    | 6  | Chênaie sessiliflore mésoxérophile  | Forte              | Forte   |
|                 |                                    | 7A   | Eboulis (sous type chênaie sessiliflore)  | Faible             | Forte   |
|                 |                                    | 7B   | Eboulis (sous type erablière sur versant nord)                                      | Faible             | Faible  |
|                 |                                    | 7C   | Eboulis (sous type charmaie chênaie frênaie)  | Faible             | Faible  |
|                 |                                    | 8  | Chênaie sessiliflore-hêtraie sur sols superficiels                                  | Faible             | Forte   |
|                 | 9                                  | Sapinière-hêtraie de versant nord  | Faible  | Faible             |         |
|                 | 10                                 | Hêtraie-sapinière hyperacidiphile  | Faible  | Forte              |         |
|                 | 11                                 | Hêtraie-sapinière acidiphile   | Forte   | Forte              |         |
| 12              | Hêtraie-sapinière mésoacidiphile   | Forte  | Moyenne   |                    |         |

| Région                                       | Catalogues de stations forestières           |  | Sensibilité  |                    |       |
|--|--|--|--|--------------------|-------|
|  | S  | Dénomination   | Aux tassements   | A l'export minéral |       |
| Vosges comtoises et collines sous-vosgiennes | V.1  | Chênaie (-hêtre) hyperacidophile à myrtille sur sol superficiel  | Faible   | Forte              |       |
|  | V.2  | Hêtre d'altitude   | Faible   | Moyenne            |       |
|  | V.3  | Érable à lunaire   | Faible   | Faible             |       |
|  | V.4  | Hêtre acidophile à myrtille sur sol moyennement profond  | Forte  | Forte              |       |
|  | V.5  | Hêtre acidophile sur sol moyennement profond à profond   | Faible   | Forte              |       |
|  | V.6  | Hêtre mésoacidophile sur sol moyennement profond à profond   | Forte  | Forte              |       |
|  | V.7  | Hêtre acidophile à millet diffus sur sol moyennement profond à profond   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | V.8  | Hêtre-sapinière mésoacidophile sur sol profond   | Faible   | Forte              |       |
|  | V.9  | Hêtre-sapinière acidophile sur sol profond   | Faible   | Moyenne            |       |
|  | V.10   | Hêtre-sapinière neutroacidophile sur sol moyennement profond à profond   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | V.11   | Hêtre-sapinière neutrophile sur sol moyennement profond à profond  | Forte  | Faible             |       |
|  | V.12   | Hêtre-chênaie (-charmaie) mésoacidophile hygrocline  | Forte  | Moyenne            |       |
|  | V.13   | Hêtre-chênaie-charmaie acidophile hygrocline   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | V.14   | Frêne-érable   | Forte  | Faible             |       |
|  | V.15   | Aulnaie-frêne mésohygrophile   | Forte  | Faible             |       |
|  | V.16   | Aulnaie hygrophile   | Très forte   | Forte              |       |
|  | C.1  | Chênaie sessiliflore (-hêtre) hyperacidophile à acidophile à callune et myrtille sur sol superficiel à peu profond | Faible   | Forte              |       |
|  | C.2  | Hêtre-chênaie sessiliflore acidophile sur sol moyennement profond à profond  | Forte  | Forte              |       |
|  | C.3  | Hêtre-chênaie mixte (-charmaie) mésoacidophile sur sol moyennement profond   | Forte  | Forte              |       |
|  | C.4  | Hêtre-chênaie (-charmaie) mésoacidophile sur sol profond à très profond  | Forte  | Forte              |       |
|  | C.5  | Hêtre-chênaie mixte-charmaie acidophile sur sol profond à très profond   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | C.6  | Hêtre-chênaie mixte-charmaie neutroacidophile sur sol moyennement profond  | Forte  | Faible             |       |
|  | C.7  | Chênaie sessiliflore-hêtre acidophile hygrocline à molinie sur sol profond à très profond                          | Moyenne  | Moyenne            |       |
|  | C.8  | Hêtre-chênaie mixte-charmaie mésoacidophile hygrocline sur sol profond à très profond                              | Moyenne  | Moyenne            |       |
|  | C.9  | Hêtre-chênaie mixte-charmaie acidophile hygrocline sur sol profond à très profond                                  | Forte  | Moyenne            |       |
|  | C.10   | Chênaie mixte-charmaie-hêtre neutrophile mésophile à hygrocline sur sol moyennement profond à profond              | Forte  | Faible             |       |
|  | C.11   | Hêtre-chênaie sessiliflore acidophile sur éboulis  | Faible   | Forte              |       |
|  | C.12   | Hêtre-chênaie-charmaie mésoacidophile sur éboulis  | Faible   | Forte              |       |
|  | C.13   | Hêtre-chênaie acidophile sur sol moyennement profond à profond   | Faible   | Forte              |       |
|  | C.14   | Hêtre-chênaie-charmaie mésoacidophile sur sol moyennement profond  | Forte  | Forte              |       |
|  | C.15   | Hêtre-chênaie sessiliflore acidophile sur sol profond  | Faible   | Moyenne            |       |
|  | C.16   | Hêtre-chênaie-charmaie mésoacidophile sur sol profond à très profond   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | C.17   | Hêtre-chênaie-charmaie neutroacidophile sur sol profond à très profond   | Forte  | Faible             |       |
|  | C.18   | Chênaie pédonculée-hêtre-charmaie mésoacidophile hygrocline  | Forte  | Moyenne            |       |
|  | C.19   | Hêtre-chênaie-charmaie acidophile hygrocline   | Moyenne  | Moyenne            |       |
|  | C.20   | Chênaie pédonculée-charmaie (-hêtre) neutrophile hygrocline  | Moyenne  | Faible             |       |
|  | C.21   | Chênaie pédonculée-frêne hygrocline  | Forte  | Faible             |       |
|  | C.22   | Frêne-érable à aulne   | Forte  | Faible             |       |
|  | C.23   | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile à neutroacidophile hygrocline   | Forte  | Faible             |       |
|  | C.24   | Aulnaie-frêne mésohygrophile   | Forte  | Faible             |       |
|  | C.25   | Aulnaie hygrophile   | Très forte   | Forte              |       |
|  | Dépression périvosgienne                     | 1.1.1  | Chênaie-hêtre très acidophile à myrtille               | Faible             | Forte |
|  |  | 1.1.2  | Chênaie-hêtre acidophile - Variante typique            | Forte              | Forte |
|  |  | 1.1.2  | Chênaie-hêtre acidophile - Variante à canche flexueuse | Faible             | Forte |
|  |  | 1.1.3  | Chênaie-hêtre acidophile à charme                      | Forte              | Forte |
| 1.1.4  |  | Chênaie-hêtre-charmaie mésoacidophile  | Forte  | Moyenne            |       |
| 1.2.1  |  | Chênaie-hêtre acidophile à charme  | Forte  | Forte              |       |
| 1.2.2  |  | Chênaie-hêtre-charmaie mésoacidophile à oxalis   | Forte  | Moyenne            |       |
| 1.2.3  |  | Chênaie pédonculée-charmaie mésoacidophile   | Forte  | Moyenne            |       |
| 1.2.4  |  | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile à neutroacidophile  | Forte  | Faible             |       |
| 2.1.1  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) neutroacidophile   | Moyenne  | Moyenne            |       |
| 2.1.2  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) mésoneutrophile  | Moyenne  | Faible             |       |
| 2.1.3  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) neutrophile  | Moyenne  | Faible             |       |
| 2.1.4  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) neutroacidophile - Variante fraîche  | Moyenne  | Faible             |       |
| 2.2.1  |  | Chênaie pédonculée-charmaie neutroacidophile sur sol brun eutrophe peu épais                                       | Forte  | Faible             |       |
| 2.2.2  |  | Chênaie pédonculée-charmaie mésoneutrophile - Variante mésohygrophile  | Forte  | Faible             |       |
| 2.2.3  |  | Chênaie pédonculée-frêne mésoneutrophile   | Forte  | Faible             |       |
| 2.3.1  |  | Chênaie pédonculée-charmaie mésoneutrophile  | Forte  | Faible             |       |
| 2.3.2  |  | Chênaie-charmaie neutrophile à calcicole   | Moyenne  | Faible             |       |
| 2.4.1  |  | Chênaie pédonculée-charmaie neutroacidophile - sous-ensemble sur sol brun sur marnes                               | Moyenne  | Faible             |       |
| 2.4.1  |  | Chênaie pédonculée-charmaie neutroacidophile - sous-ensemble sur sol brun superficiel sur dalle                    | Moyenne  | Faible             |       |
| 2.4.2  |  | Chênaie pédonculée-frêne mésoneutrophile sur gley oxydé  | Forte  | Faible             |       |
| 3.1.1  |  | Chênaie-hêtre acidophile à charme  | Forte  | Forte              |       |
| 3.1.2  |  | Chênaie-hêtre-charmaie mésoacidophile  | Forte  | Moyenne            |       |
| 3.2.1  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) acidophile   | Forte  | Moyenne            |       |
| 3.2.2  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) acidophile - Variante fraîche  | Forte  | Moyenne            |       |
| 3.2.3  |  | Chênaie-charmaie (-hêtre) neutroacidophile   | Forte  | Faible             |       |
| 4.1.1  |  | Chênaie-hêtre acidophile sur formations glaciaires   | Forte  | Forte              |       |
| 4.1.2  |  | Chênaie-hêtre acidophile à charme  | Forte  | Forte              |       |
| 4.1.3  |  | Chênaie pédonculée-hêtre acidophile à charme   | Forte  | Forte              |       |
| 4.1.4  |  | Chênaie pédonculée-hêtre-charmaie mésoacidophile   | Forte  | Moyenne            |       |
| 4.1.5  |  | Chênaie pédonculée à molinie bleue - Variante typique  | Forte  | Forte              |       |
| 4.1.5  |  | Chênaie pédonculée à molinie bleue - Variante à crin végétal   | Forte  | Forte              |       |
| 4.1.6  | Aulnaie marécageuse                          | Très forte   | Forte  |                    |       |
| 4.1.7  | Chênaie pédonculée-charmaie neutroacidophile | Forte  | Faible   |                    |       |
| 4.1.8  | Chênaie pédonculée-frêne alluviale           | Moyenne  | Faible   |                    |       |
| 4.2.1  | Chênaie pédonculée-charmaie acidophile       | Forte  | Moyenne  |                    |       |
| Vallée de la Lanterne                        | 1  | Aulnaie-boulaie pubescente   | Très forte   | Forte              |       |
|  | 2  | Aulnaie marécageuse  | Très forte   | Forte              |       |
|  | 3  | Aulnaie-frêne de bord de cours d'eau   | Forte  | Faible             |       |
|  | 4  | Chênaie pédonculée-charmaie sur alluvions récentes   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | 5  | Chênaie-hêtre-charmaie sur alluvions récentes  | Forte  | Moyenne            |       |
|  | 6  | Chênaie sessiliflore-hêtre   | Forte  | Forte              |       |
|  | 7  | Hêtre-chênaie sessiliflore   | Forte  | Faible             |       |
|  | 8  | Chênaie pédonculée-hêtre-charmaie mésoacidophile   | Forte  | Forte              |       |
|  | 9  | Chênaie-hêtre-charmaie   | Forte  | Moyenne            |       |
|  | 10   | Chênaie pédonculée-charmaie à molinie  | Forte  | Forte              |       |
|  | 11   | Aulnaie à ronces   | Très forte   | Forte              |       |
|  | 12   | Chênaie pédonculée-charmaie à crin végétal   | Forte  | Moyenne            |       |

| Région            | Catalogues de stations forestières  |   | Sensibilité   |                    |        |
|-------------------|---|---|---|--------------------|--------|
|                   | S   | Dénomination  | Aux tassements  | A l'export minéral |        |
| Plaine de Saône   | 1113  | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie mésoacidiphile à fétuque hétérophile sur limons   | Forte   | Moyenne            |        |
|                   | 1114  | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie acidiphile à fétuque hétérophile sur limon  | Forte   | Faible             |        |
|                   | 1115  | Chênaie hêtraie-charmaie mésoneutrophile sur limons   | Forte   | Faible             |        |
|                   | 1122  | Chênaie sessiliflore-hêtraie acidiphile sur sables  | Faible  | Forte              |        |
|                   | 1123  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-(charmaie) mésoacidiphile sur sables   | Faible  | Moyenne            |        |
|                   | 1124  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-(charmaie) acidiphile sur sables   | Forte   | Faible             |        |
|                   | 1130  | Chênaie-(hêtraie)-charmaie neutrophile à mésoneutrophile sur marnes ou marno-calcaires  | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | 1140  | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie mésoneutrophile à neutrocalcicole sur calcaires durs  | Forte   | Faible             |        |
|                   | 1151  | Hêtraie-chênaie sessiliflore sur limons à chaillies hyperacidiphile   | Forte   | Forte              |        |
|                   | 1152  | Hêtraie-chênaie sessiliflore sur limons à chaillies acidiphile  | Forte   | Forte              |        |
|                   | 1153  | Hêtraie-chênaie sessiliflore sur limons à chaillies mésoacidiphile  | Forte   | Forte              |        |
|                   | 1154  | Hêtraie-chênaie sessiliflore sur limons à chaillies variante acidiphile à neutroacidiphile  | Forte   | Moyenne            |        |
|                   | 2103a   | Chênaie mixte-boulaie-tremblaie mésoacidiphile mésohygrocline à molinie bleue   | Forte   | Forte              |        |
|                   | 2103b   | Chênaie mixte-boulaie-tremblaie mésoacidiphile hygrocline à molinie bleue   | Forte   | Forte              |        |
|                   | 2103c   | Chênaie pédonculée-aulnaie acidiphile à mésoacidiphile mésohygrocline à molinie bleue et sphaignes                                  | Forte   | Forte              |        |
|                   | 2114  | Chênaie pédonculée-tremblaie acidiphile hygrocline à crin végétal   | Forte   | Moyenne            |        |
|                   | 2121  | Chênaie pédonculée-boulaie pubescente acidiphile à hyperacidiphile hygrocline à sphaignes sur sables                                | Forte   | Forte              |        |
|                   | 2210  | Chênaie pédonculée-tremblaie à agrostide des chiens de fonds de vallons engorgés  | Forte   | Forte              |        |
|                   | 3210  | Chênaie pédonculée-(frênaie)-charmaie mésohygrocline acidiphile à mésoneutrophile de fonds de vallon sur limons                     | Forte   | Faible             |        |
|                   | 3230  | Chênaie pédonculée-(frênaie)-charmaie mésohygrocline mésoneutrophile à neutrophile de fonds de vallon sur marnes ou marno-calcaires | Forte   | Faible             |        |
|                   | 3310  | Chênaie pédonculée-(frênaie)-charmaie mésohygrocline acidiphile à mésoneutrophile sur basses terrasses limoneuses                   | Forte   | Moyenne            |        |
|                   | 3320  | Chênaie pédonculée-(frênaie)-charmaie mésohygrocline neutroacidiphile à mésoneutrophile sur basses terrasses sableuses              | Forte   | Moyenne            |        |
|                   | 3330  | Chênaie pédonculée-(frênaie)-charmaie mésohygrocline neutrophile à calcicole sur terrasses calcaires                                | Forte   | Faible             |        |
|                   | 4200  | Chênaie pédonculée-frênaie-ormaie hygrocline mésoneutrophile à neutrophile de fonds de vallons                                      | Forte   | Faible             |        |
|                   | 4410  | Chênaie pédonculée-frênaie-ormaie hygrocline à hygrophile à lâche maigre sur alluvions fines  | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | 4420  | Chênaie pédonculée-frênaie-ormaie hygrocline mésoneutrophile à crin végétal sur alluvions sableuses                                 | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | 4430  | Chênaie pédonculée-frênaie-ormaie hygrocline calcicole sur alluvions calcaires sur sols superficiels                                | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | 5000  | Frênaie-aulnaie   | Forte   | Faible             |        |
|                   | 6000  | Aulnaie-saulaie amphibie de mares forestières boisées   | Très forte  | Forte              |        |
|                   | 6100  | Aulnaie-(frênaie) hygrophile mésoacidiphile à neutroacidiphile à fougères sur gleys humifères de versant                            | Très forte  | Forte              |        |
|                   | 6204  | Aulnaie hygrophile acidiphile à lâche allongée  | Très forte  | Forte              |        |
|                   | 6205  | Aulnaie hygrophile mésoacidiphile à lâche des marais et lâche des rivages   | Très forte  | Forte              |        |
|                   | 7000  | Saulaie blanche de peuplier noir calcicole  | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | Bresse centrale et méridionale  | 111   | Frênaie ormaie à chêne et charme mésoneutrophile fraîche à très fraîche | Moyenne            | Faible |
|                   |   | 112   | Saulaie blanche de peuplier noir  | Moyenne            | Faible |
| 121               |   | Aulnaie acidiphile  | Très forte  | Forte              |        |
| 122               |   | Aulnaie eutrophe à mésotrophe   | Forte   | Faible             |        |
| 123               |   | Aulnaie-Frênaie à hautes herbes, eutrophe à mésotrophe  | Forte   | Faible             |        |
| 124               |   | Chênaie pédonculée-Frênaie-Charmaie mésoneutrophile fraîche   | Forte   | Faible             |        |
| 125               |   | Chênaie pédonculée-Frênaie-Charmaie acidiphile fraîche de bas de pente  | Forte   | Faible             |        |
| 126               |   | Frênaie-Chênaie pédonculée-Charmaie acidiphile frais à hydromorphe  | Forte   | Faible             |        |
| 211               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie neutrophile à mésoneutrophile  | Moyenne   | Faible             |        |
| 212               |   | Chênaie-Hêtraie-Charmaie neutrophile à mésoneutrophile  | Forte   | Faible             |        |
| 213               |   | Chênaie-Hêtraie-Charmaie acidiphile   | Forte   | Moyenne            |        |
| 221               |   | Chênaie-Hêtraie-charmaie acidiphile mésophile   | Faible  | Moyenne            |        |
| 222               |   | Chênaie-hêtraie-charmaie mésoacidiphile à acidiphile mésoxérophile  | Faible  | Forte              |        |
| 223               |   | Chênaie-hêtraie-charmaie mésoneutrophile  | Moyenne   | Faible             |        |
| 231               |   | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoneutrophile à acidiphile   | Forte   | Moyenne            |        |
| 241               |   | Chênaie-Hêtraie-Charmaie mésoneutrophile à acidiphile mésophile   | Forte   | Faible             |        |
| 242               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie acidiphile frais à hydromorphe   | Forte   | Moyenne            |        |
| 243               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie mésoacidiphile mésophile   | Faible  | Moyenne            |        |
| 244               |   | Chênaie pédonculée-Boulaie-(Charmaie) mésoacidiphile hydromorphe à très hydromorphe   | Forte   | Forte              |        |
| 245               |   | Chênaie pédonculée-Boulaie-(Charmaie) acidiphile doux à acidiphile mésophile à mésoxérophile  | Faible  | Forte              |        |
| 246               |   | Chênaie pédonculée-Boulaie-(Charmaie) acidiphile doux à charme à acidiphile, hydromorphe à très hydromorphe à molinie               | Forte   | Forte              |        |
| 251               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie neutrophile à calcicole  | Moyenne   | Faible             |        |
| 252               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie neutrophile à mésoneutrophile  | Forte   | Faible             |        |
| 261               |   | Chênaie-Charmaie mésoneutrophile  | Forte   | Faible             |        |
| 262               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie acidiphile   | Forte   | Moyenne            |        |
| 263               |   | Chênaie-(Hêtraie)-Charmaie acidiphile hydromorphe   | Forte   | Moyenne            |        |
| 264               |   | Chênaie sessiliflore-(Hêtraie)-Charmaie mésoacidiphile  | Forte   | Moyenne            |        |
| 265               |   | Chênaie sessiliflore-(Hêtraie)-Charmaie mésoacidiphile hydromorphe  | Forte   | Moyenne            |        |
| 266               |   | Chênaie-Boulaie-(Hêtraie)-(Charmaie) mésoacidiphile très hydromorphe  | Forte   | Forte              |        |
| 267               |   | Chênaie sessiliflore-(Hêtraie)-Charmaie   | Forte   | Forte              |        |
| 268               | Chênaie-Boulaie-(Charmaie) acidiphile à acidiphile doux, hydromorphe à très hydromorphe   | Forte   | Forte   |                    |        |
| 269               | Chênaie pédonculée-Boulaie très acide très hydromorphe                                    | Forte   | Forte   |                    |        |
| Vallée de l'Ygnon | M1  | Hêtraie-Chênaie-charmaie neutroacidiphile à neutrophile sur marnes  | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | A1  | Aulnaie marécageuse à Carex elongata, mésoneutrophile à mésoacidiphile  | Très forte  | Forte              |        |
|                   | A2  | Aulnaie-frênaie sur gley oxydé  | Forte   | Faible             |        |
|                   | A3  | Frênaie-aulnaie riveraine sur gley oxydé  | Forte   | Faible             |        |
|                   | A4  | Frênaie-ormaie à chêne pédonculé hygrophile   | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | A5  | Frênaie-ormaie à chêne pédonculé mésohygrocline   | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | A6  | Chênaie pédonculée-ormaie-frênaie hygrocline  | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | A7  | Chênaie pédonculée frênaie-ormaie hygrocline  | Moyenne   | Faible             |        |
|                   | T1  | Hêtraie-Chênaie-bétulaie acidiphile sur sols à pseudogley   | Forte   | Forte              |        |
|                   | T2  | Hêtraie-Chênaie-charmaie acidiphile modéré sur sols à pseudogley  | Forte   | Forte              |        |
|                   | T3  | Hêtraie-Chênaie-charmaie mésoacidiphile à pseudogley profond  | Forte   | Moyenne            |        |
|                   | T4  | Hêtraie-Chênaie-charmaie mésoacidiphile à pseudogley moyennement profond  | Forte   | Forte              |        |
|                   | T5  | Hêtraie-Chênaie-bétulaie acidiphile sur sol lessivés podzoliques  | Forte   | Forte              |        |
|                   | T6  | Chênaie pédonculée-bétulaie à Molinie bleue   | Forte   | Forte              |        |
|                   | T7  | Aulnaie-bétulaie acidiphile à molinie bleue   | Très forte  | Forte              |        |
| T8                | Chênaie pédonculée à Molinie sur pseudogley   | Forte   | Forte   |                    |        |
| T9                | Hêtraie-Chênaie-charmaie mésoacidiphile sur sols lessivés                                 | Forte   | Moyenne   |                    |        |
| T10               | Hêtraie-chênaie-charmaie acidiphile à neutroacidiphile sur sols bruns lessivés            | Forte   | Faible  |                    |        |
| T11               | Hêtraie-Chênaie-charmaie mésoneutrophile à neutrophile sur sols bruns légèrement lessivés | Forte   | Faible  |                    |        |
| T12               | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile à mésoacidiphile hygrocline à crin végétal         | Forte   | Moyenne   |                    |        |
| T13               | Chênaie pédonculée-charmaie acidiphile à neutroacidiphile                                 | Forte   | Moyenne   |                    |        |
| T14               | Chênaies pédonculées-charmaie mésoneutrophile à neutrophile                               | Forte   | Faible  |                    |        |
| 7000VS            | Saulaie alluviale arborescente  | Moyenne   | Faible  |                    |        |

| Région  | Catalogues de stations forestières                   |   | Sensibilité    |                    |
|---|--|---|----------------|--------------------|
|   | S  | Dénomination  | Aux tassements | A l'export minéral |
| Sudgau  | A  | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile, sur sol moyennement profond                         | Forte          | Faible             |
|   | B  | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile, sur sol moyennement profond  | Forte          | Moyenne            |
|   | C  | Chênaie-hêtraie acidophile, sur sol moyennement profond   | Forte          | Forte              |
|   | D  | Hêtraie-chênaie-charmaie acidophile, sur sol profond à très profond   | Forte          | Moyenne            |
|   | E  | Hêtraie-chênaie acidophile, sur sol profond à très profond  | Forte          | Forte              |
|   | F  | Chênaie mixte-charmaie neutrophile à mésoneutrophile, sur sol peu hydromorphe                               | Forte          | Faible             |
|   | G  | Chênaie mixte-charmaie acidophile, sur sol peu hydromorphe  | Forte          | Moyenne            |
|   | H  | Saulaie ripicole pionnière sur alluvions  | Moyenne        | Faible             |
|   | I  | Frênaie-érablaie ripicole non marécageuse   | Forte          | Faible             |
|   | J  | Chênaie pédonculée-frênaie  | Forte          | Faible             |
|   | K  | Chênaie pédonculée acidophile, sur sol hydromorphe  | Forte          | Moyenne            |
|   | L  | Chênaie mixte acidophile, sur sol hydromorphe   | Forte          | Forte              |
|   | M  | Aulnaie-frênaie mésohygrophile  | Forte          | Faible             |
|   | N  | Aulnaie à hautes herbes neutroacidophile  | Très forte     | Forte              |
| O   | Aulnaie marécageuse à grandes lâches                 | Très forte  | Forte          |                    |
| P   | Chênaie pédonculée acidophile à sphaignes et molinie | Très forte  | Forte          |                    |
| Q   | Aulnaie marécageuse acidophile                       | Forte   | Forte          |                    |
| Plateaux calcaires de Haute-Saône et Avants-Monts occidentaux | 1  | Chênaie sessiliflore-charmaie xérophile sur sol très superficiel sur calcaire                               | Faible         | Faible             |
|   | 2  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie xérophile sur sol assez superficiel sur calcaire                      | Moyenne        | Faible             |
|   | 3  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol moyennement profond sur calcaire                    | Moyenne        | Faible             |
|   | 4  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol profond sur calcaire                                | Moyenne        | Moyenne            |
|   | 5  | Chênaie mixte (hêtraie)-charmaie mésohygrocline sur sol argileux hydromorphe issu de marne (bis)            | Forte          | Faible             |
|   | 6  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésoneutrophile à acidophile sur limon                                | Forte          | Moyenne            |
|   | 7  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-(charmaie) mésoacidophile à acidophile sur limon à chailles                    | Forte          | Forte              |
|   | 8  | Hêtraie-chênaie sessiliflore très acidophile, à leucobryum, sur limon à chailles                            | Forte          | Forte              |
|   | 9  | Chênaie-boulaie très acidophile, à leucobryum, sur limon à chailles, sur sol podzolique                     | Forte          | Forte              |
|   | 10   | Chênaie pubescente  | Faible         | Faible             |
|   | 11   | Chênaie sessiliflore-hêtraie-(charmaie) thermoxérophile sur calcaire  | Faible         | Faible             |
|   | 11b  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie thermoxérophile sur sol modérément profond sur calcaire               | Moyenne        | Faible             |
|   | 12   | Érablaie-tillaie hygrosclérophile, à scolopendre, sur éboulis grossier                                      | Faible         | Faible             |
|   | 13   | Hêtraie-tillaie-chênaie hygrosclérophile, à dentaire et scolopendre   | Forte          | Faible             |
|   | 14   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie légèrement hygrosclérophile sur versant d'ubac                        | Moyenne        | Moyenne            |
|   | 15   | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie xérophile de versant mésotherme sur sol superficiel sur calcaire      | Faible         | Faible             |
|   | 16   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile de versant mésotherme sur sol assez profond sur calcaire    | Moyenne        | Faible             |
|   | 17   | Hêtraie-chênaie-charmaie calcicole à calcicole sur marne peu altérée  | Moyenne        | Faible             |
|   | 18   | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile sur marne altérée                                    | Moyenne        | Faible             |
|   | 19   | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoneutrophile à acidophile sur versant limoneux                                  | Forte          | Moyenne            |
|   | 20   | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoacidophile à acidophile sur limons à chailles                                  | Forte          | Forte              |
|   | 21   | Hêtraie-chênaie-charmaie de bas de versant, sur matériaux colluviaux  | Moyenne        | Faible             |
|   | 22   | Chênaie (hêtraie)-charmaie de dépression karstique (dolines, vallons secs) sur matériaux colluviaux drainés | Forte          | Faible             |
|   | 23   | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline de fond de vallon sur sols hydromorphes                          | Forte          | Faible             |
|   | 24   | Chênaie pédonculée-frênaie hygrocline sur sols alluviaux colluviaux à nappe profonde                        | Forte          | Faible             |
|   | 25   | Aulnaie-frênaie mésohygrophile sur gley oxydé   | Forte          | Faible             |
| 26  | Aulnaie hygrophile                                   | Très forte  | Forte          |                    |
| Pays de Belfort et Montbéliard                                | 1  | Chênaie pubescente sous ensemble à charme   | Faible         | Faible             |
|   | 2  | Hêtraie-chênaie xérophile de corniche à seslérie  | Faible         | Faible             |
|   | 3  | Chênaie sessiliflore-(hêtraie)-charmaie-tillaie sur lapiaz  | Faible         | Faible             |
|   | 4  | Chênaie sessiliflore-(hêtraie)-charmaie xérophile sur sol très superficiel sur calcaire                     | Faible         | Faible             |
|   | 5  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie sur sol assez superficiel sur calcaire                                | Moyenne        | Faible             |
|   | 6  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol moyennement profond sur calcaire                    | Moyenne        | Faible             |
|   | 7  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol profond sur calcaire                                | Moyenne        | Moyenne            |
|   | 8  | Hêtraie submontagnarde calcicole à neutrophile  | Moyenne        | Moyenne            |
|   | 9  | Chênaie mixte (hêtraie)-charmaie mésohygrocline sur sol argileux hydromorphe issu de marne                  | Forte          | Faible             |
|   | 10   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésoneutrophile à acidophile sur limon                                | Forte          | Moyenne            |
|   | 11   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-(charmaie) mésoacidophile à acidophile sur limon                               | Forte          | Forte              |
|   | 12   | Hêtraie-chênaie sessiliflore oligotrophe très acidophile, à leucobryum, sur limon                           | Forte          | Forte              |
|   | 15   | Chênaie-hêtraie (charmaie) thermoxérophile à thermoxérophile sur calcaire                                   | Faible         | Faible             |
|   | 15b  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie thermoxérophile sur calcaire  | Moyenne        | Faible             |
|   | 16   | Érablaie-tillaie hygrosclérophile, à scolopendre, sur éboulis grossier                                      | Faible         | Faible             |
|   | 17   | Chênaie-charmaie-tillaie-érablaie hygrosclérophile à scolopendre  | Forte          | Faible             |
|   | 18   | Hêtraie-tillaie hygrosclérophile, à dentaire, sur éboulis fin   | Faible         | Faible             |
|   | 19   | Hêtraie hygrosclérophile à dentaire   | Faible         | Faible             |
|   | 20   | Hêtraie-chênaie-charmaie hygrosclérophile sur versant d'ubac  | Faible         | Faible             |
|   | 21   | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie xérophile de versant mésotherme sur sol superficiel sur calcaire      | Faible         | Faible             |
|   | 22   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile de versant mésotherme sur sol assez profond sur calcaire    | Moyenne        | Faible             |
|   | 23   | Chênaie sessiliflore thermophile à molinie sur marne  | Moyenne        | Faible             |
|   | 24   | Hêtraie-chênaie-charmaie calcicole à calcicole sur marne peu altérée  | Moyenne        | Faible             |
|   | 25   | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile sur marne altérée                                    | Moyenne        | Faible             |
|   | 26   | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoneutrophile à acidophile de versant, sur limon épais                           | Forte          | Moyenne            |
|   | 27   | Hêtraie-chênaie-charmaie de bas de versants, sur matériaux colluviaux                                       | Moyenne        | Faible             |
|   | 28   | Chênaie (hêtraie)-charmaie de dépressions karstiques (dolines, vallons secs) et de bas de versants          | Forte          | Faible             |
|   | 29   | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline, hygrosclérophile, à aconit tue-loup et nivéole                  | Forte          | Faible             |
|   | 30   | Frênaie-charmaie mésohygrocline, hygrosclérophile, à corydale   | Faible         | Faible             |
|   | 31   | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline de fond de vallon sur sol hydromorphe                            | Forte          | Faible             |
|   | 32   | Saulaie ripicole sur alluvions sableuses ou graveleuses   | Moyenne        | Faible             |
|   | 33   | Frênaie-érablaie ripicole hygrocline à mésohygrophile   | Forte          | Faible             |
|   | 34   | Chênaie pédonculée-frênaie hygrocline sur sols alluviaux colluviaux à nappe profonde                        | Forte          | Faible             |
|   | 35   | Aulnaie-frênaie mésohygrophile sur gley oxydé   | Forte          | Faible             |
|   | 36   | Aulnaie hygrophile  | Très forte     | Forte              |

| Région                                | Catalogues de stations forestières  |  | Sensibilité    |                    |
|---------------------------------------|---|--|----------------|--------------------|
|                                       | S   | Dénomination   | Aux tassements | A l'export minéral |
| Premiers plateaux du Doubs et du Jura | 1   | Chênaie pubescente sous ensemble à charme  | Faible         | Faible             |
|                                       | 2   | Hêtraie-chênaie xérophile de corniche à séslerie   | Faible         | Faible             |
|                                       | 3   | Chênaie sessiliflore-(hêtraie)-charmaie-tillaie sur lapiaz   | Faible         | Faible             |
|                                       | 4   | Chênaie sessiliflore-(hêtraie)-charmaie xérophile sur sol très superficiel sur calcaire                  | Faible         | Faible             |
|                                       | 5   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie sur sol assez superficiel sur calcaire                             | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 6   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol moyennement profond sur calcaire                 | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 7   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol profond sur calcaire                             | Moyenne        | Moyenne            |
|                                       | 8   | Hêtraie submontagnarde calcicole à neutrophile   | Moyenne        | Moyenne            |
|                                       | 9   | Chênaie mixte-(hêtraie)-charmaie mésohygrocline sur sol argileux hydromorphe issu de marne               | Forte          | Faible             |
|                                       | 10  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésoneutrophile à acidiline sur limon                              | Forte          | Moyenne            |
|                                       | 11  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-(charmaie) mésoacidiphile à acidiphile sur limon                            | Forte          | Forte              |
|                                       | 12  | Hêtraie-chênaie sessiliflore oligotrophe très acidiphile, à leucobryum, sur limon                        | Forte          | Forte              |
|                                       | 13  | Tillaie à érable à feuilles d'obier xérophile sur éboulis grossiers                                      | Faible         | Faible             |
|                                       | 14  | Hêtraie-chênaie thermoxérophile à lâche blanche et séslerie, sur éboulis fins                            | Faible         | Faible             |
|                                       | 14b   | Hêtraie-chênaie thermoxérophile à mésotherme sur éboulis fins  | Faible         | Faible             |
|                                       | 15  | Chênaie-hêtraie-(charmaie) thermoxérophile à thermoxérophile sur calcaire                                | Faible         | Faible             |
|                                       | 15b   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie thermoxérophile sur calcaire                                       | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 16  | Érable-tillaie hygrosciaphile, à scolopendre, sur éboulis grossier                                       | Faible         | Faible             |
|                                       | 17  | Chênaie-charmaie-tillaie-érablaie hygrosciaphile à scolopendre   | Forte          | Faible             |
|                                       | 18  | Hêtraie-tillaie hygrosciaphile, à dentaire, sur éboulis fin  | Faible         | Faible             |
|                                       | 19  | Hêtraie hygrosciaphile à dentaire  | Faible         | Faible             |
|                                       | 20  | Hêtraie-chênaie-charmaie hygrosciaphile sur versant d'ubac   | Faible         | Faible             |
|                                       | 21  | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie xérophile de versant mésotherme sur sol superficiel sur calcaire   | Faible         | Faible             |
|                                       | 22  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile de versant mésotherme sur sol assez profond sur calcaire | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 23  | Chênaie sessiliflore thermophile à molinie sur marne   | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 24  | Hêtraie-chênaie-charmaie calcicole à calcicole sur marne peu altérée                                     | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 25  | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile sur marne altérée                                 | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 26  | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoneutrophile à acidiline de versant, sur limon épais                         | Forte          | Moyenne            |
|                                       | 27  | Hêtraie-chênaie-charmaie de bas de versants, sur matériaux colluviaux                                    | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 28  | Chênaie-(hêtraie)-charmaie de dépressions karstiques (dolines, vallons secs) et de bas de versants       | Forte          | Faible             |
|                                       | 29  | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline, hygrosciaphile, à aconit tue-loup et nivéole                 | Forte          | Faible             |
|                                       | 30  | Frênaie-charmaie mésohygrocline, hygrosciaphile, à corydale  | Faible         | Faible             |
|                                       | 31  | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline de fond de vallon sur sol hydromorphe                         | Forte          | Faible             |
|                                       | 32  | Soulaie ripicole sur alluvions sableuses ou graveleuses  | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 33  | Frênaie-érablaie ripicole hygrocline à mésohygrophile  | Forte          | Faible             |
|                                       | 34  | Chênaie pédonculée-frênaie hygrocline sur sols alluviaux colluviaux à nappe profonde                     | Forte          | Faible             |
| 35                                    | Aulnaie-frênaie mésohygrophile sur gley oxydé   | Forte  | Faible         |                    |
| 36                                    | Aulnaie hygrophile  | Très forte   | Forte          |                    |
| Petite Montagne                       | 1   | Chênaie pubescente sous ensemble à charme  | Faible         | Faible             |
|                                       | 2   | Hêtraie-chênaie xérophile de corniche à séslerie   | Faible         | Faible             |
|                                       | 3   | Chênaie sessiliflore-(hêtraie)-charmaie-tillaie sur lapiaz   | Faible         | Faible             |
|                                       | 4   | Chênaie sessiliflore-(hêtraie)-charmaie xérophile sur sol très superficiel sur calcaire                  | Faible         | Faible             |
|                                       | 5   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie sur sol assez superficiel sur calcaire                             | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 6   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol moyennement profond sur calcaire                 | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 7   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile sur sol profond sur calcaire                             | Moyenne        | Moyenne            |
|                                       | 8   | Hêtraie submontagnarde calcicole à neutrophile   | Moyenne        | Moyenne            |
|                                       | 9   | Chênaie mixte-(hêtraie)-charmaie mésohygrocline sur sol argileux hydromorphe issu de marne               | Forte          | Faible             |
|                                       | 10  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésoneutrophile à acidiline sur limon                              | Forte          | Moyenne            |
|                                       | 11  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-(charmaie) mésoacidiphile à acidiphile sur limon                            | Forte          | Forte              |
|                                       | 12  | Hêtraie-chênaie sessiliflore oligotrophe très acidiphile, à leucobryum, sur limon                        | Forte          | Forte              |
|                                       | 13  | Tillaie à érable à feuilles d'obier xérophile sur éboulis grossiers                                      | Faible         | Faible             |
|                                       | 14b   | Hêtraie-chênaie thermoxérophile à mésotherme sur éboulis fins  | Faible         | Faible             |
|                                       | 15  | Chênaie-hêtraie-(charmaie) thermoxérophile à thermoxérophile sur calcaire                                | Faible         | Faible             |
|                                       | 15b   | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie thermoxérophile sur calcaire                                       | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 16  | Érable-tillaie hygrosciaphile, à scolopendre, sur éboulis grossier                                       | Faible         | Faible             |
|                                       | 17  | Chênaie-charmaie-tillaie-érablaie hygrosciaphile à scolopendre   | Forte          | Faible             |
|                                       | 18  | Hêtraie-tillaie hygrosciaphile, à dentaire, sur éboulis fin  | Faible         | Faible             |
|                                       | 19  | Hêtraie hygrosciaphile à dentaire  | Faible         | Faible             |
|                                       | 20  | Hêtraie-chênaie-charmaie hygrosciaphile sur versant d'ubac   | Faible         | Faible             |
|                                       | 21  | Chênaie sessiliflore-hêtraie-charmaie xérophile de versant mésotherme sur sol superficiel sur calcaire   | Faible         | Faible             |
|                                       | 22  | Hêtraie-chênaie sessiliflore-charmaie mésophile de versant mésotherme sur sol assez profond sur calcaire | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 23  | Chênaie sessiliflore thermophile à molinie sur marne   | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 24  | Hêtraie-chênaie-charmaie calcicole à calcicole sur marne peu altérée                                     | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 25  | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile sur marne altérée                                 | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 26  | Hêtraie-chênaie-charmaie mésoneutrophile à acidiline de versant, sur limon épais                         | Forte          | Moyenne            |
|                                       | 27  | Hêtraie-chênaie-charmaie de bas de versants, sur matériaux colluviaux                                    | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 28  | Chênaie-(hêtraie)-charmaie de dépressions karstiques (dolines, vallons secs) et de bas de versants       | Forte          | Faible             |
|                                       | 29  | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline, hygrosciaphile, à aconit tue-loup et nivéole                 | Forte          | Faible             |
|                                       | 30  | Frênaie-charmaie mésohygrocline, hygrosciaphile, à corydale  | Faible         | Faible             |
|                                       | 31  | Chênaie pédonculée-charmaie mésohygrocline de fond de vallon sur sol hydromorphe                         | Forte          | Faible             |
|                                       | 32  | Soulaie ripicole sur alluvions sableuses ou graveleuses  | Moyenne        | Faible             |
|                                       | 33  | Frênaie-érablaie ripicole hygrocline à mésohygrophile  | Forte          | Faible             |
|                                       | 34  | Chênaie pédonculée-frênaie hygrocline sur sols alluviaux colluviaux à nappe profonde                     | Forte          | Faible             |
|                                       | 35  | Aulnaie-frênaie mésohygrophile sur gley oxydé  | Forte          | Faible             |
| 36                                    | Aulnaie hygrophile  | Très forte   | Forte          |                    |
| A                                     | Tillaie xérophile, sur lapiaz   | Faible   | Moyenne        |                    |
| B                                     | Hêtraie-chênaie-charmaie calcicole thermocline sur sol argilo-limoneux, issu de marne ou de moraine argileuse                   | Moyenne  | Faible         |                    |
| C                                     | Hêtraie-chênaie-charmaie neutrophile à mésoneutrophile mésophile sur sol argilo-limoneux, issu de marne ou de moraine argileuse | Moyenne  | Faible         |                    |
| D                                     | Tillaie-érablaie-(chênaie) xérocline à buis   | Faible   | Faible         |                    |
| E                                     | Hêtraie-tillaie mésotherme à buis   | Faible   | Faible         |                    |
| F                                     | Chênaie-charmaie-(hêtraie) calcicole thermocline, sur marne ou moraine argileuse  | Moyenne  | Faible         |                    |
| G                                     | Hêtraie-(sapinière) neutrocalciphile légèrement hygrosciaphile, sur marne   | Moyenne  | Faible         |                    |
| H                                     | Chênaie-châtaigneraie mésoacidiphile à acidiphile, sur limon épais  | Forte  | Forte          |                    |
| I                                     | Chênaie-(hêtraie)-charmaie mésoneutrophile à mésoacidiphile, sur limon épais  | Forte  | Moyenne        |                    |
| J                                     | Tillaie à tilleul à feuilles cordées et lâche blanche alluviale hygrocline, sur sol calcaire très drainé                        | Forte  | Faible         |                    |
| Z2-12                                 | Hêtraie calcicole thermophile à lâches sur éboulis fin  | Faible   | Faible         |                    |
| Z2-13                                 | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole xérocline sur sol très superficiel sur calcaire   | Faible   | Faible         |                    |
| Z2-20                                 | Hêtraie-sapinière calcicole xérocline à mésophile sur sol très superficiel sur calcaire   | Faible   | Faible         |                    |

| Région                             | Catalogues de stations forestières |   | Sensibilité   |                    |
|------------------------------------|------------------------------------|---|---|--------------------|
|                                    | S                                  | Dénomination  | Aux tassements  | A l'export minéral |
| Pentes intermédiaires jurassiennes | 1                                  | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole mésoxérophile sur dalle affleurante                                       | Faible  | Faible             |
|                                    | 2                                  | Hêtraie montagnarde calcicole xérophile à seslerie sur sol très superficiel sur calcaire                    | Faible  | Faible             |
|                                    | 3                                  | Hêtraie-sapinière calcicole xérocline sur sol superficiel sur calcaire                                      | Faible  | Faible             |
|                                    | 4                                  | Hêtraie-sapinière calcicole à neutrophile, mésophile à hygrocline, sur sol moyennement profond sur calcaire | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 5                                  | Hêtraie-sapinière neutrophile à acidiline, mésophile à hygrocline, sur sol profond sur calcaire             | Moyenne   | Moyenne            |
|                                    | 6                                  | Chênaie pubescente sur marne de bord de corniche  | Faible  | Faible             |
|                                    | 7                                  | Hêtraie-sapinière neutroacidiline sur sol moyennement profond à profond sur marne                           | Forte   | Moyenne            |
|                                    | 8                                  | Hêtraie-sapinière neutrophile à acidiline sur limon   | Forte   | Moyenne            |
|                                    | 9                                  | Hêtraie-sapinière mésoacidiphile à acidiphile sur limon   | Forte   | Moyenne            |
|                                    | 10                                 | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole mésoxérophile sur affleurements rocheux                                   | Faible  | Faible             |
|                                    | 11                                 | Tillaie à érables xérophile à xéroclime sur éboulis grossier  | Faible  | Faible             |
|                                    | 12                                 | Hêtraie calcicole thermophile à lâches sur éboulis fin  | Faible  | Faible             |
|                                    | 13                                 | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole xérocline sur sol très superficiel sur calcaire                           | Faible  | Faible             |
|                                    | 14                                 | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole mésophile sur sol moyennement profond sur calcaire                        | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 15                                 | Erablaie-tillaie à scolopendre hygrosaphile sur éboulis grossier  | Faible  | Faible             |
|                                    | 16                                 | Sapinière-tillaie-érablaie à scolopendre sur gros blocs stabilisés  | Faible  | Faible             |
|                                    | 17                                 | Hêtraie-tillaie hygrosaphile d'ubac sur éboulis fin   | Faible  | Faible             |
|                                    | 18                                 | Hêtraie-sapinière à dentaire hygrosaphile d'ubac  | Faible  | Faible             |
|                                    | 19                                 | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole d'ubac  | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 20                                 | Hêtraie-sapinière calcicole xérocline à mésophile sur sol très superficiel sur calcaire                     | Faible  | Faible             |
|                                    | 21                                 | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole sur sol moyennement profond sur calcaire                                  | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 22                                 | Hêtraie-sapinière neutrophile à acidiline sur sol profond sur calcaire                                      | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 23                                 | Hêtraie-sapinière sur marne   | Forte   | Faible             |
|                                    | 24                                 | Hêtraie sapinière sur limon   | Forte   | Faible             |
|                                    | 25                                 | Hêtraie-sapinière neutrophile à mésoacidiphile sur sol moyennement profond à profond                        | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 27                                 | Saulaie ripicole pionnière sur alluvions sableuses ou graveleuses   | Moyenne   | Faible             |
|                                    | 28                                 | Frênaie-érablaie ripicole sur alluvions   | Forte   | Faible             |
|                                    | 29                                 | Aulnaie-frênaie alluviale mésohygrophile sur nappe circulante   | Forte   | Faible             |
|                                    | 30                                 | Aulnaie marécageuse sur sol hydromorphe, saulaie marécageuse  | Très forte  | Forte              |
|                                    | 31                                 | Forêts sur tourbe   | Très forte  | Forte              |
|                                    | Deuxième plateau du Jura           | 1   | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole mésoxérophile sur dalle affleurante | Faible             |
| 2                                  |                                    | Hêtraie montagnarde calcicole xérophile à seslerie sur sol très superficiel sur calcaire                    | Faible  | Faible             |
| 3                                  |                                    | Hêtraie-sapinière calcicole xérocline sur sol superficiel sur calcaire                                      | Faible  | Faible             |
| 4                                  |                                    | Hêtraie-sapinière calcicole à neutrophile, mésophile à hygrocline, sur sol moyennement profond sur calcaire | Moyenne   | Faible             |
| 5                                  |                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile à acidiline, mésophile à hygrocline, sur sol profond sur calcaire             | Moyenne   | Moyenne            |
| 6                                  |                                    | Chênaie pubescente sur marne de bord de corniche  | Faible  | Faible             |
| 7                                  |                                    | Hêtraie-sapinière neutroacidiline sur sol moyennement profond à profond sur marne                           | Forte   | Moyenne            |
| 8                                  |                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile à acidiline sur limon   | Forte   | Moyenne            |
| 9                                  |                                    | Hêtraie-sapinière mésoacidiphile à acidiphile sur limon   | Forte   | Moyenne            |
| 10                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole mésoxérophile sur affleurements rocheux                                   | Faible  | Faible             |
| 11                                 |                                    | Tillaie à érables xérophile à xéroclime sur éboulis grossier  | Faible  | Faible             |
| 12                                 |                                    | Hêtraie calcicole thermophile à lâches sur éboulis fin  | Faible  | Faible             |
| 13                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole xérocline sur sol très superficiel sur calcaire                           | Faible  | Faible             |
| 14                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole mésophile sur sol moyennement profond sur calcaire                        | Moyenne   | Faible             |
| 15                                 |                                    | Erablaie-tillaie à scolopendre hygrosaphile sur éboulis grossier  | Faible  | Faible             |
| 16                                 |                                    | Sapinière-tillaie-érablaie à scolopendre sur gros blocs stabilisés  | Faible  | Faible             |
| 17                                 |                                    | Hêtraie-tillaie hygrosaphile d'ubac sur éboulis fin   | Faible  | Faible             |
| 18                                 |                                    | Hêtraie-sapinière à dentaire hygrosaphile d'ubac  | Faible  | Faible             |
| 19                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole d'ubac  | Moyenne   | Faible             |
| 20                                 |                                    | Hêtraie-sapinière calcicole xérocline à mésophile sur sol très superficiel sur calcaire                     | Faible  | Faible             |
| 21                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrocalcicole sur sol moyennement profond sur calcaire                                  | Moyenne   | Faible             |
| 22                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile à acidiline sur sol profond sur calcaire                                      | Moyenne   | Faible             |
| 23                                 |                                    | Hêtraie-sapinière sur marne   | Forte   | Faible             |
| 24                                 |                                    | Hêtraie sapinière sur limon   | Forte   | Faible             |
| 25                                 |                                    | Hêtraie-sapinière neutrophile à mésoacidiphile sur sol moyennement profond à profond                        | Moyenne   | Faible             |
| 26                                 |                                    | Hêtraie-sapinière à hautes herbes   | Très forte  | Forte              |
| 27                                 |                                    | Saulaie ripicole pionnière sur alluvions sableuses ou graveleuses   | Moyenne   | Faible             |
| 28                                 |                                    | Frênaie-érablaie ripicole sur alluvions   | Forte   | Faible             |
| 29                                 |                                    | Aulnaie-frênaie alluviale mésohygrophile sur nappe circulante   | Forte   | Faible             |
| 30                                 |                                    | Aulnaie marécageuse sur sol hydromorphe, saulaie marécageuse  | Très forte  | Forte              |
| 31                                 |                                    | Forêts sur tourbe   | Très forte  | Forte              |

## **Annexe 4 : Cartes des sensibilités des sols forestiers aux tassements et à l'exportation minérale.**

*Carte de sensibilité des sols forestiers aux tassements (selon la classification PROSOL) – Format A3.*

*Carte de sensibilité des sols forestiers à l'exportation minérale – Format A3.*

*Carte de sensibilité des sols forestiers à l'intensification de l'exploitation pour le bois-énergie – Format A3.*



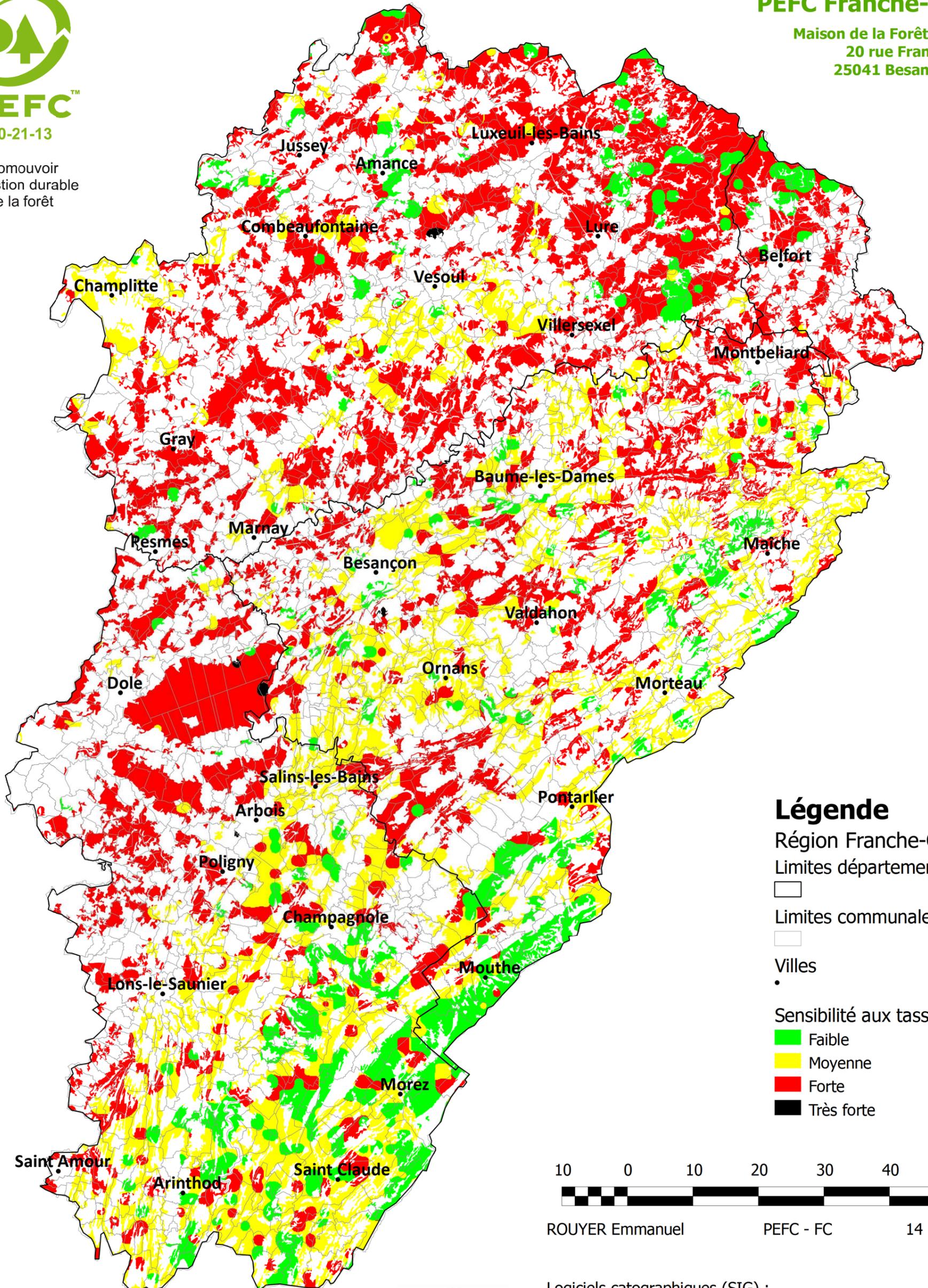
# Cartographie de la sensibilité des sols forestiers aux tassements (selon la classification PROSOL)



Promouvoir  
la gestion durable  
de la forêt

**PEFC Franche-Comté**

Maison de la Forêt et du Bois  
20 rue François Villon  
25041 Besançon Cédex



## Légende

Région Franche-Comté

Limites départementales



Limites communales



Villes



Sensibilité aux tassements

■ Faible

■ Moyenne

■ Forte

■ Très forte

10 0 10 20 30 40 50 Km



ROUYER Emmanuel

PEFC - FC

14 mars 2011

Logiciels cartographiques (SIG) :

QGIS 1.6 ; GRASS 6.4

Données sources :

Base de données de l'IFN (campagnes 2005 à 2009)

Union européenne - SOeS, CORINE Land Cover, 2006

Limites départementales - IGN-GEOFLA ® Départements





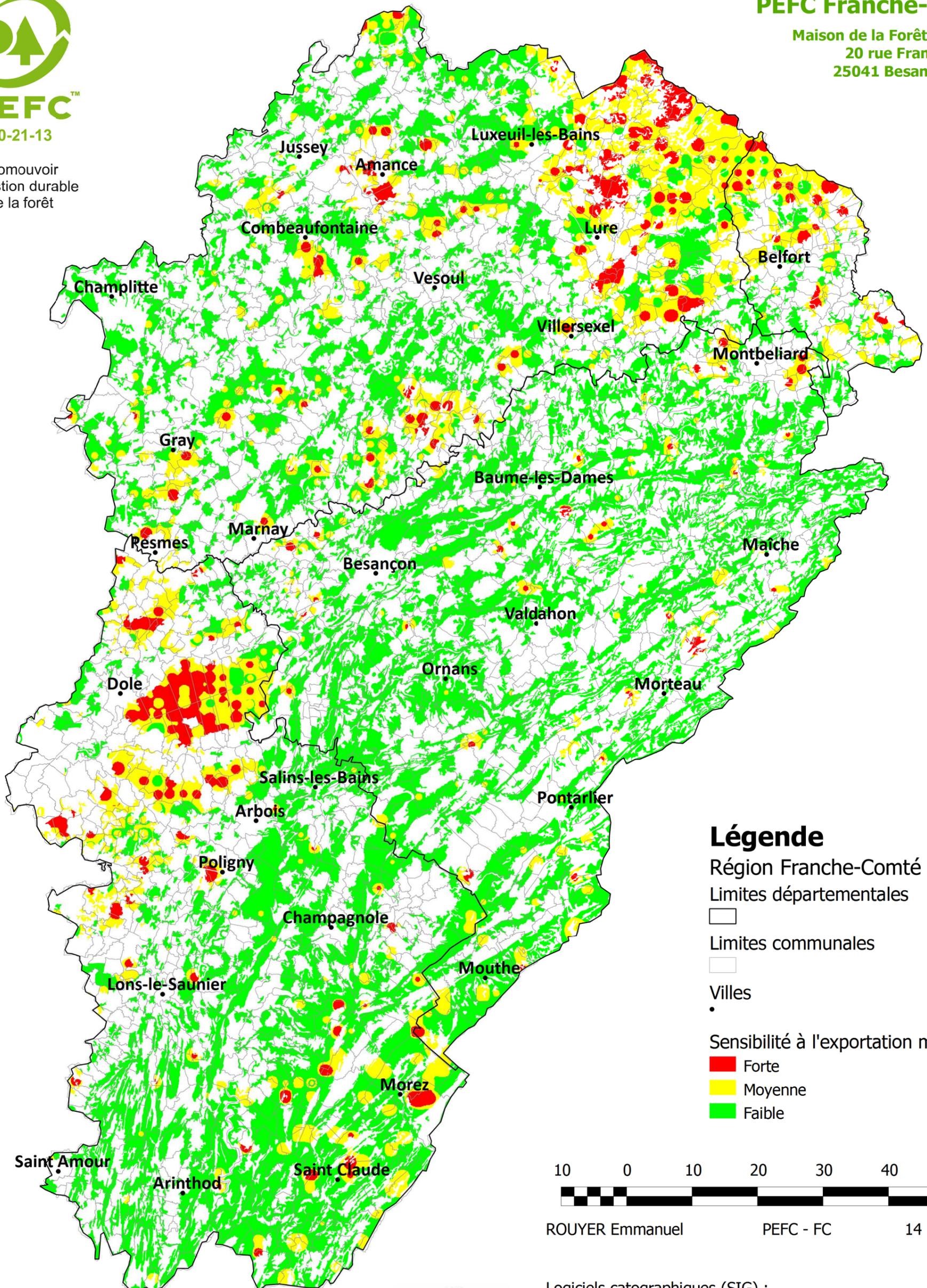
# Cartographie de la sensibilité des sols forestiers à l'exportation minérale



Promouvoir  
la gestion durable  
de la forêt

**PEFC Franche-Comté**

Maison de la Forêt et du Bois  
20 rue François Villon  
25041 Besançon Cédex



## Légende

Région Franche-Comté

Limites départementales



Limites communales



Villes



Sensibilité à l'exportation minérale

Forte

Moyenne

Faible

10 0 10 20 30 40 50 Km



ROUYER Emmanuel

PEFC - FC

14 mars 2011

Logiciels cartographiques (SIG) :

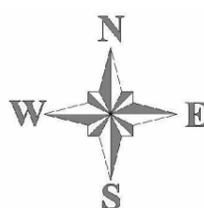
QGIS 1.6 ; GRASS 6.4

Données sources :

Base de données de l'IFN (campagnes 2005 à 2009)

Union européenne - SOeS, CORINE Land Cover, 2006

Limites départementales - IGN-GEOFLA ® Départements





# Cartographie de la sensibilité des sols forestiers à l'intensification de l'exploitation pour le bois-énergie



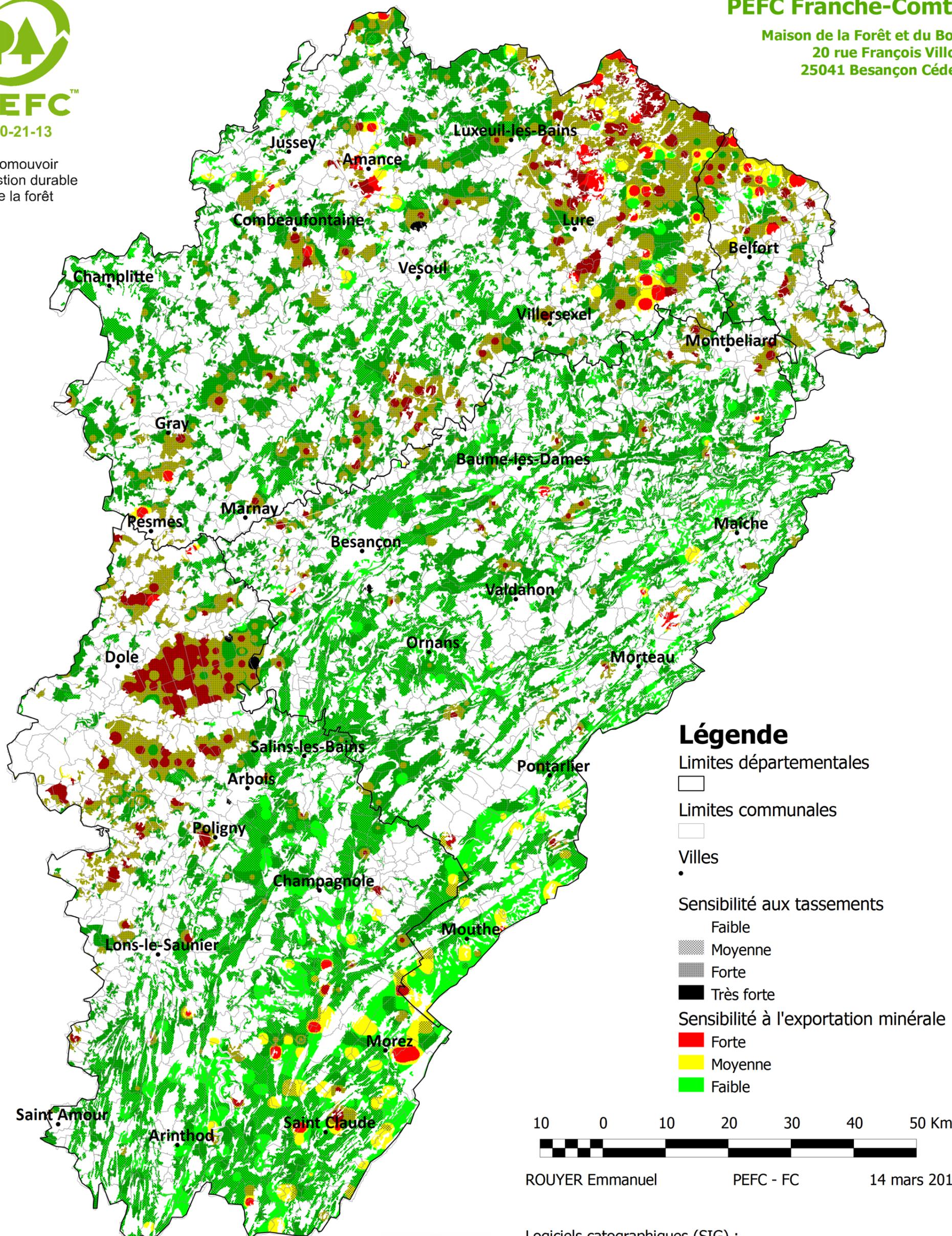
**PEFC™**

10-21-13

Promouvoir  
la gestion durable  
de la forêt

**PEFC Franche-Comté**

Maison de la Forêt et du Bois  
20 rue François Villon  
25041 Besançon Cédex



ROUYER Emmanuel

PEFC - FC

14 mars 2011

Logiciels cartographiques (SIG) :  
QGIS 1.6 ; GRASS 6.4

Données sources :

Base de données de l'IFN (campagnes 2005 à 2009)

Union européenne - SOeS, CORINE Land Cover, 2006

Limites départementales - IGN-GEOFLA ® Départements





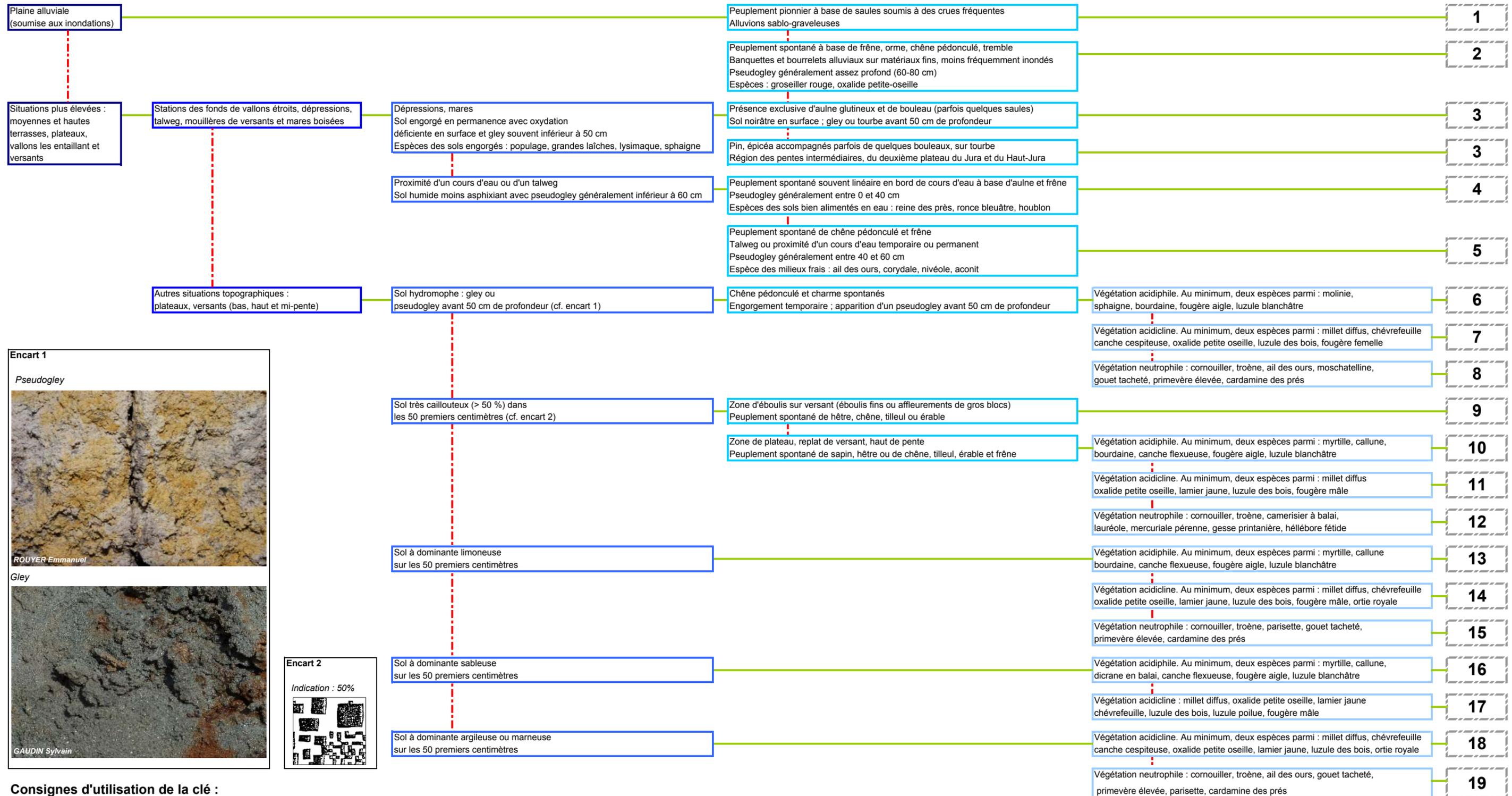
**Annexe 5 : Clé de détermination du guide de recommandations d'exploitation  
des menus bois.**

*Clé de détermination – Format A3.*



# Clé de détermination des groupes de sensibilités stationnelles

version 2.3



## Consignes d'utilisation de la clé :

Chaque bloc dans les cadres bleus correspond à une question. Il convient alors de suivre la bonne flèche (comme indiqué ci-dessous) en fonction de la réponse

- Réponse positive
- - - Réponse négative





## **RÉSUMÉ**

À travers le développement de la filière bois-énergie, les sylviculteurs ont vu l'opportunité de valoriser une ressource jusqu'à présent sous-utilisée : les menus bois.

Cette récolte supplémentaire n'est cependant pas sans conséquences sur les écosystèmes forestiers. Des voix s'élèvent pour encadrer cette pratique, arguant de la fragilité des sols : appauvrissements, déstructurations... L'association PEFC de Franche-Comté s'est ainsi proposée pour réaliser un diagnostic des sensibilités de chaque station forestière quant au tassement et à l'exportation minérale.

L'analyse a ainsi permis de définir les sites propices à une telle exploitation et les contraintes à y préconiser grâce à la production de cartes, d'une part, et à la réalisation d'un guide de recommandations d'exploitation, basé sur une typologie de stations, d'autre part.

Déclinaisons régionales des protocoles du guide PROSOL et du guide sur la récolte raisonnée des rémanents, l'outil proposé aux propriétaires ou gestionnaires doit leur permettre d'en appliquer les conclusions adaptées aux spécificités franc-comtoises.