



Mars
2019

GERBOISE

GESTION RAISONNEE DE LA RECOLTE DE BOIS-ENERGIE

OBSERVATOIRE DES PRATIQUES DE RECOLTE
DU BOIS ENERGIE ET EVALUATION D'OUTILS
DE FLUX

Gerboise

RAPPORT d'observation

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



REMERCIEMENTS

Le travail réalisé dans ce volet du projet GERBOISE a impliqué de nombreuses personnes dans les organismes partenaires. Qu'ils en soient tous ici remerciés :

Chloé BOLDRINI, Xavier MONTAGNY, David PEUCH, Christophe PERINOT, Alain BOUVET, Emmanuel CACOT, Vincent MORILLON, Matthieu BONNEMAZOU, Mathilde DUVERGER, Thierry FAUCONNIER (FCBA),

Isabelle BILGER, Nathalie KORBOULEWSKI, Yann DUMAS, Marion GOSSELIN, Abdelwahab BESSAAD, Loïc COTEL (Irstea),

Laurent SAINT ANDRE, Philippe SAINTENOISE, Marie-Christine GEHIN (INRA-BEF),

Emila AKROUME, Jean-Pierre RENAUD, Clark RAVELOSON, Damien LAUVIN, Christine DELEUZE, Noémie POUSSE, Claudine RICHTER (ONF),

Nicolas BILOT (INRA puis GCF),

Holger WERNSDÖRFER (AgroParisTech).

Par ailleurs, nous tenons à remercier les professionnels mobilisateurs de bois énergie (coopératives forestières, ONFE, exploitants, expert forestier) qui nous ont mis à disposition des chantiers pour réaliser ces suivis. Ils nous ont également fourni les données sur leur chantier, tenus au courant de leur avancée, échangé avec les équipes de recherche. Ces suivis ont subi les aléas propres à ce type de chantier, en particulier la météorologie, et cela n'a pas été un long fleuve tranquille...

CITATION DE CE RAPPORT

CACOTE E., DELEUZE C., BOLDRINI C. (coord.) (2018). **Observatoire des pratiques de récolte du bois énergie et évaluation d'outils de flux. Projet GERBOISE – Gestion raisonnée du bois énergie. Verneuil-sur-Vienne** : FCBA, Angers : ADEME, 51 p. + annexes.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque et www.gip-ecofor.org/gerboise

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1360C0008

Coordination technique - ADEME : DEPARTE Alba et RIMBAUD

Audrey

Direction Productions et Energies Durables, Service Forêt,
Alimentation et Bioéconomie.



Résumé

Dans un contexte de demande accrue pour le bois énergie, les pratiques de récolte évoluent : elles sont mécanisées et conduisent de plus en plus souvent à un export des compartiments jusqu'alors laissés en forêt (menus bois, souches). Le projet Gerboise visait l'actualisation des recommandations définies dans le guide ADEME (2006) sur « La récolte raisonnée des rémanents en forêt », suite à l'état de l'art réalisé dans le projet précédent Resobio (volet 1), et à mettre en place un observatoire des pratiques de récolte concernant les plaquettes forestière (volet 3). Le volet 2 était plus méthodologique sur les outils de calculs d'exportation. Ce rapport technique contient les résultats des volets 2 et 3 du projet GERBOISE, éléments qui ont alimentés les débats entre experts pour stabiliser les recommandations du volet 1. Il s'agit de se munir d'outils pour suivre l'évolution quantitative des pratiques et pour mesurer leur conséquence en termes d'exportation.

Une enquête nationale auprès des mobilisateurs de bois énergie a permis tout d'abord de caractériser les types de chantiers en bois-énergie et la distribution des modalités de récolte (géographique et par type de matériel, de coupe) pratiquées actuellement. Un protocole a ensuite été mis en place pour suivre un premier échantillonnage de chantiers et mesurer les exportations de biomasse et minéralomasse associées aux récoltes : l'objectif était de partager un protocole national réutilisable ensuite dans d'autres projets et de le tester dans des conditions très différenciées. Un des résultats importants de ce projet est la construction d'une base de données partagée hébergée par FCBA.

Une chaîne de calculs a ensuite été construite pour exploiter les mesures et calculer les quantités de biomasse et minéralomasse exportées. Des mesures de bois exploité resté au sol permettent de quantifier les parts de menus-bois laissés au sol. Des données sur les peuplements et les sols permettent de positionner ces chantiers dans les groupes de sensibilité définis dans le guide Ademe pour discuter des résultats. Cette chaîne de calcul est adaptée à la structure de la base de données Gerboise et ce qui assure un traitement comparable de tous les chantiers qui seraient réalisés sur ce même protocole et ajoutés à la base partagée dans de futurs projets.

Le résultat principal de l'analyse de ces premiers chantiers, même s'ils ne peuvent être tenus complètement pour représentatifs des récoltes de bois-énergie, est dans tous les cas, que le seuil de 10 % de menus-bois laissés sur coupe semble assuré, mais en revanche qu'une partie seulement des chantiers permettent de laisser plus de 20-30 % de menus-bois. Pour des sols moyennement sensibles à l'exportation d'éléments minéraux ou à statut intermédiaire de biodiversité, il convient donc de déterminer les pratiques qui permettront plus systématiquement de laisser plus de 20 ou 30 % de menus-bois, comme préconisé dans le guide.

Enfin des outils existants par ailleurs sur les quantifications d'export et le diagnostic d'impact sur les peuplements ont été testés pour évaluer la faisabilité de les adapter pour les gestionnaires.

Les principaux constats de ce rapport ont abouti à la construction d'un projet déposé à l'APR Graine de 2018 et retenu par l'ADEME : le projet Tamobiom, piloté par FCBA, démarre en 2019. En utilisant toute la méthodologie développée dans ce rapport, il vise à tester des méthodes opérationnelles nouvelles devant conduire à laisser plus de menus-bois et les feuilles au sol.



SOMMAIRE

1. Introduction, contexte et positionnement du projet	6
2. Observatoire des pratiques d'exploitation pour la fourniture des plaquettes forestières	8
2.1. Enquête nationale auprès des principaux mobilisateurs de bois énergie en France	8
2.1.1. Informations recueillies	8
2.1.2. Saison de récolte et lieu de séchage/ressuyage de la biomasse	8
2.1.3. Modalités de récolte de la biomasse forestière à destination du bois énergie	9
2.2. Suivi détaillé des chantiers de récolte Bois Energie : objectif et chantiers analysés	11
2.2.1. Développement d'un protocole expérimental	11
2.2.2. Déploiement du protocole, chantiers suivis	13
2.2.3. Analyses minérales des échantillons récoltés	17
2.2.4. Base de données	17
2.3. Calculs d'exportations	18
2.3.1. Méthodologie de calcul	18
2.3.1.1. <i>Variables nécessaires pour les calculs</i>	18
2.3.1.2. <i>Organisation des traitements par essence</i>	19
2.3.1.3. <i>Hauteurs de tous les arbres des inventaires</i>	20
2.3.1.4. <i>Ratio moyen Hdec / Htot par essence et catégorie de taille</i>	21
2.3.1.5. <i>Volume de bois</i>	22
2.3.1.6. <i>Biomasses de bois</i>	22
2.3.1.7. <i>Biomasses de feuilles</i>	23
2.3.1.8. <i>Quantités de minéraux du bois</i>	23
2.3.1.9. <i>Quantités de minéraux du feuillage</i>	25
2.3.1.10. <i>Exportations totales calculées</i>	25
2.3.1.11. <i>Variation du bois mort au sol</i>	26
2.3.2. Résultats des exportations de biomasse et minéralomasse	28
2.3.2.1. <i>Calculs d'exportation des chantiers à partir des inventaires</i>	28
2.3.2.2. <i>Variation d'humidité du bois mort</i>	30
2.3.2.3. <i>Prise en compte du bois réellement laissé au sol</i>	32
2.4. Bilan des calculs et discussion	34
2.4.1. Exports minéraux suite aux récoltes de menus bois	35
2.4.2. Positionnement des chantiers dans les grilles de sensibilité INSENSE	36
2.4.3. Discussion sur les calculs pour les feuilles	37
2.4.4. Comparaison avec les données rendues usines	38
2.4.5. Fiches synthétiques par chantier	39
2.4.6. Perspectives	40
3. Evaluation d'outils d'aide à la décision	42
3.1. Test d'un outil de calcul d'exportation à l'échelle peuplement issu du projet Resobio (David Achat)	42
3.2. Outils de bilans de flux	45
3.2.1. REGESOL (INRA-BEF, Arnaud Legout, RFF 2014)	45
3.2.1.1. <i>Présentation de l'outil</i>	45



3.2.1.2. <i>Test de l'outil sur un site du réseau INRA MOS</i>	46
3.2.2. FORGECO (FCBA, Emmanuel Cacot, RFF 2014)	49
3.2.2.1. <i>Présentation de l'outil</i>	49
3.2.2.2. <i>Test de l'outil</i>	49
3.3. Bilan	50
4. Conclusions, perspectives	51
Annexes	54
Annexe 1. Enquête nationale sur les modalités de récolte du Bois Energie : formulaire d'enquête	54
Annexe 2. Observatoire national de la récolte de bois énergie (données 2015) Publication FCBA INFO. 55	
Annexe 3. Protocole pour l'analyse détaillée de chantiers d'exploitation de bois énergie	61
Annexe 4. Fiches synthétiques des chantiers suivis dans le projet GERBOISE	86
Index des figures	132
Index des tableaux	134



1. Introduction, contexte et positionnement du projet

Comment, dans le cadre d'une gestion *durable* des forêts, mobiliser les volumes supplémentaires demandés par le marché du bois, conformément à la politique forestière ? Parmi les solutions envisagées pour la filière bois-énergie, on assiste au développement de nouvelles pratiques de récolte mécanisée qui prélèvent des compartiments jusqu'alors laissés en forêt (menus bois, souches). Le projet RESOBIO a permis de faire une synthèse et une évaluation des connaissances sur la gestion de la récolte des rémanents et ses impacts possibles sur les écosystèmes forestiers, et de formuler des pistes de recommandations (Landmann et Nivet, 2014). Il importe donc maintenant de mettre à disposition des opérateurs de terrain des **conseils et recommandations** et, dans la mesure du possible, des **outils d'aide à la décision**.

L'attente des agents de développement forestier et opérateurs de terrain est d'autant plus forte que la demande pour le bois énergie est soutenue et en accroissement. L'attente des organismes de certification forestière est également forte, mais plus difficile à satisfaire dans la mesure où il faut produire des indicateurs quantitatifs simples, ce qui reste, sur la base des conclusions du projet RESOBIO, très difficile en l'état des connaissances scientifiques.

Pour répondre à cette attente, le projet GERBOISE (Gestion Raisonnée du Bois Energie) a visé à actualiser les recommandations définies dans le guide ADEME (2006) sur « **La récolte raisonnée des rémanents en forêt** ». Il s'est appuyé pour cela sur un observatoire des pratiques de récolte fournissant les plaquettes forestières, constituant le volet 3 de ce projet. En effet, Les pratiques de récolte et les types de produits fournissant la plaquette forestière ont été décrites qualitativement dans le projet RESOBIO ; on connaît cependant mal la réalité de leur déploiement en France métropolitaine : où, comment et par qui sont-elles mises en œuvre ?

Cet observatoire intègre 2 niveaux :

Le **niveau 1** consiste en une **enquête nationale** auprès des principaux **mobilisateurs de bois énergie visant** à connaître globalement :

la répartition des chantiers d'exploitation dans l'espace (par département ou région ; on ne vise pas leur position exacte) et par types de propriétés,

les modalités de récolte (types de peuplements, de coupe, de matériel) et la part de chacun de ces systèmes en volume,

l'intensité des prélèvements par modalités d'exploitation (volumes mobilisés par ha et par an).

Le **niveau 2** consiste en une **analyse plus précise d'un petit nombre de chantiers**, choisis en se basant sur les résultats de l'enquête de niveau 1 (représentativité des chantiers), et permettant de :

déterminer avant exploitation les éléments descriptifs du sol (pH, humus, texture, horizons, perturbations existantes...) et du peuplement (essence, densité, hauteur, diamètre...) par échantillonnage, afin de pouvoir attribuer chaque chantier à une classe de sensibilité du sol au sens du guide ADEME 2006) ;

procéder au même descriptif après chantier complété par une évaluation quantitative en valeur absolue de ce qui est exporté et de ce qui reste sur place, ainsi que de l'état de surface du sol (% de sol nu, % de surface de sol perturbé). L'objectif est ici de quantifier, par type de chantier, le ratio entre



biomasse prélevée et biomasse restante, et les types de perturbation au sol, à un instant t correspondant à la fin de chantier.

En complément de cet observatoire, le volet 2 du projet GERBOISE a permis de mettre en place toute une chaîne de calcul pour évaluer les exportations de biomasse et minéralomasse des chantiers, puis de tester quelques outils d'aide à la décision existants et développés à l'intention des techniciens de coopérative, experts, etc., c'est-à-dire les agents d'encadrement de l'exploitation forestière. Ces outils sont de deux natures :

des **équations de biomasse et minéralomasse** permettant d'évaluer les exportations minérales liées aux pratiques de récolte développées dans le projet Resobio ;

des **modélisations des flux biogéochimiques** et de leur bilan, permettant d'évaluer les pertes d'éléments nutritifs et les éventuels besoins en fertilisation compensatoire.

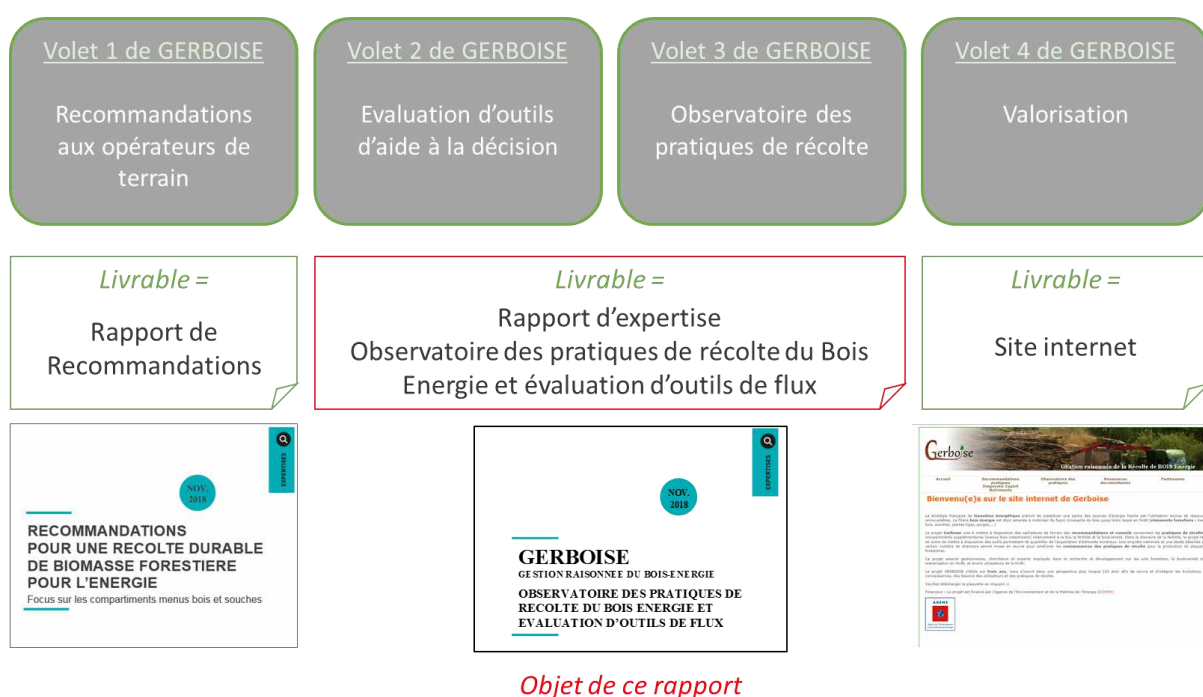


Figure 1. Les différents volets et rapports du projet GERBOISE.

2. Observatoire des pratiques d'exploitation pour la fourniture des plaquettes forestières

L'objectif de ce volet est d'étudier la réalité des pratiques forestières de récolte de biomasse et les types de produits fournissant les plaquettes forestières : **où, comment et par qui sont-elles mises en œuvre ? Ce volet déploie un observatoire qui se décline sur deux niveaux :**

une enquête nationale auprès des principaux mobilisateurs de bois-énergie),

un suivi détaillé de chantiers de récolte bois-énergie.

2.1. Enquête nationale auprès des principaux mobilisateurs de bois énergie en France

Contributeurs : Matthieu BONNEMAZOU (FCBA), Vincent MORILLON (FCBA), Emmanuel CACOT (FCBA)

En annexe 2, est repris un [article publié dans « FCBA info »](#) (Bonnemaison *et al.*, 2017) qui présente plus en détails les conclusions que l'on peut tirer sur les pratiques de récolte observées.

2.1.1. Informations recueillies

L'objectif de cette enquête était de connaître :

- la répartition des chantiers d'exploitation dans l'espace et par types de propriétés,
- les modalités de récolte (types de peuplements, de coupe, de matériel) et la part de chacun de ces systèmes en volume,
- l'intensité des prélèvements par modalités d'exploitation (volumes mobilisés en moyenne par hectare et par an),
- les types de produits récoltés (arbres entiers, houppiers).
- les périodes d'abattage et les temps de ressuyage sur coupe et bord de route.

Un formulaire d'enquête (annexe 1) a été envoyé à **62 entreprises** identifiées sur le territoire national comme entreprises de mobilisation de bois énergie (BE) plaquettes. Le taux de réponse à l'enquête est de 45 % pour un peu plus de la moitié du bois énergie mobilisé en France (d'après les données de l'enquête annuelle sur la branche d'activité Exploitation forestière (EAB, Agreste, Ministère de l'agriculture). Cependant, la part des souches dans la mobilisation nationale de plaquettes est sous-évaluée car de gros acteurs de mobilisation situés en Aquitaine n'ont pas répondu au questionnaire et cette pratique de récolte est majoritairement pratiquée dans les Landes de Gascogne.

2.1.2. Saison de récolte et lieu de séchage/ressuyage de la biomasse

Pour les feuillus, 99 % de la récolte réalisée par les entreprises de l'observatoire l'est indifféremment en feuilles ou hors feuilles. Le choix de la récolte ne porte pas sur ce critère ni sur la saison.



Les entreprises interrogées répondent qu'un séchage/ressuyage est très fréquemment - à près de 90 % - réalisé sur coupe pour les feuillus comme pour les résineux. Un complément de séchage/ressuyage est également souvent pratiqué bord de route. L'information sur la durée de ces séchages/ressuyages n'a pas été demandée.

Le déchetage sur coupe est peu pratiqué (7 % des cas) car il nécessite du matériel mobile sur parcelles forestières. Le déchetage bord de route est le plus pratiqué (78 % des cas) et nécessite du matériel transportable (déplacements entre chantiers). Les plus gros matériels de broyage sont plutôt utilisés sur plateforme sur lesquelles la production de plaquettes reste modérée (15 % des cas).

Au final, si la récolte d'arbres destinés à la production de plaquettes forestières est réalisée indifféremment en feuilles que hors feuilles, le séchage/ressuyage est très fréquent sur coupe. Au vu des informations collectées, il est toutefois difficile de préciser quelle proportion du feuillage reste sur la parcelle après le premier séchage/ressuyage et quelle proportion est exportée. Même si les préoccupations techniques sur la qualité des plaquettes produites (taux limités d'humidité et de cendres) rejoignent ici celles concernant l'environnement (laisser ressuyer les arbres sur parcelle et limiter les pertes de matières minérales contenues dans les feuilles), il n'est pas possible à partir des données de cette enquête de connaître les exportations minérales liées à cette biomasse très concentrée en éléments minéraux.

2.1.3. Modalités de récolte de la biomasse forestière à destination du bois énergie

Le traitement des données a permis de réaliser un classement des modalités de récoltes BE les plus utilisées par les acteurs de la mobilisation sur le terrain, par type de peuplement et de coupe.

Les pratiques de récoltes les plus répandues sont : **la récolte d'arbres entiers en peuplements feuillus lors de la coupe rase d'un taillis simple** ou de la **coupe du sous-étage d'un peuplement mélangé taillis/futaie**. Les **ouvertures de cloisonnement et éclaircies complètent l'approvisionnement en feuillus qui représente 71 % du tonnage du BE mobilisé en forêt**. Les peuplements résineux représentent une faible partie de l'approvisionnement plaquettes (27 % des tonnages identifiés).

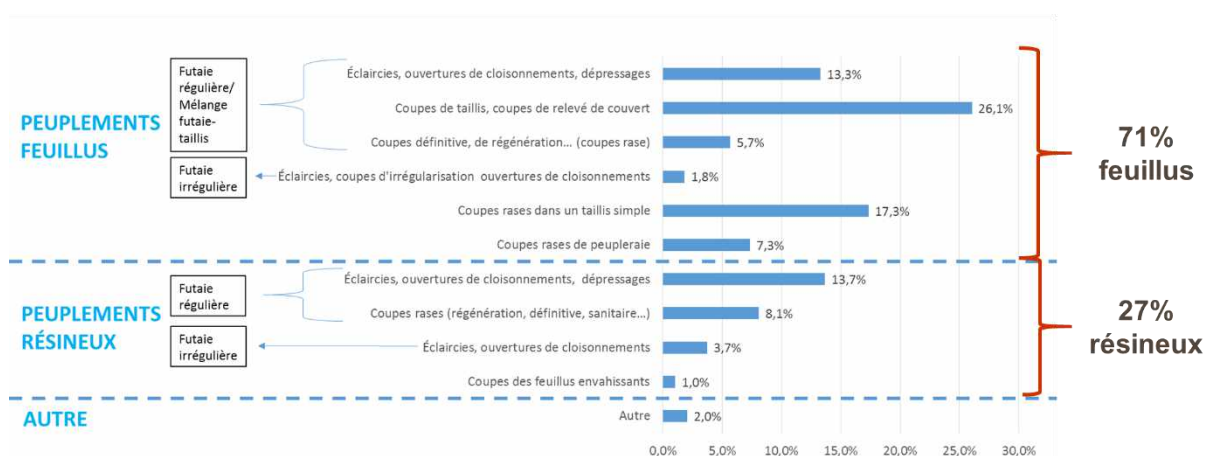


Figure 2. Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type peuplement et de coupe.

Arbres entiers ainsi que cimes entières/houppiers représentent plus de 83 % de la biomasse récoltée pour la production de plaquettes forestières (cf. Figure 3 ci-dessous). Dans le premier cas, l'ensemble de l'arbre est récolté puis broyé pour produire de la plaquette forestière. Dans le second cas, les troncs sont façonnés en billons ou grumes, majoritairement pour du bois d'œuvre, et les houppiers (ou cimes pour les résineux) sont broyés en plaquette forestière. Au final, dans les deux modalités, l'arbre entier est récolté, à destination tout ou partie de la plaquette forestière pour du Bois Energie. Il s'agit des mêmes compartiments de biomasse exploités et donc d'éléments minéraux exportés lors de l'exploitation des arbres notamment pour les feuillus.

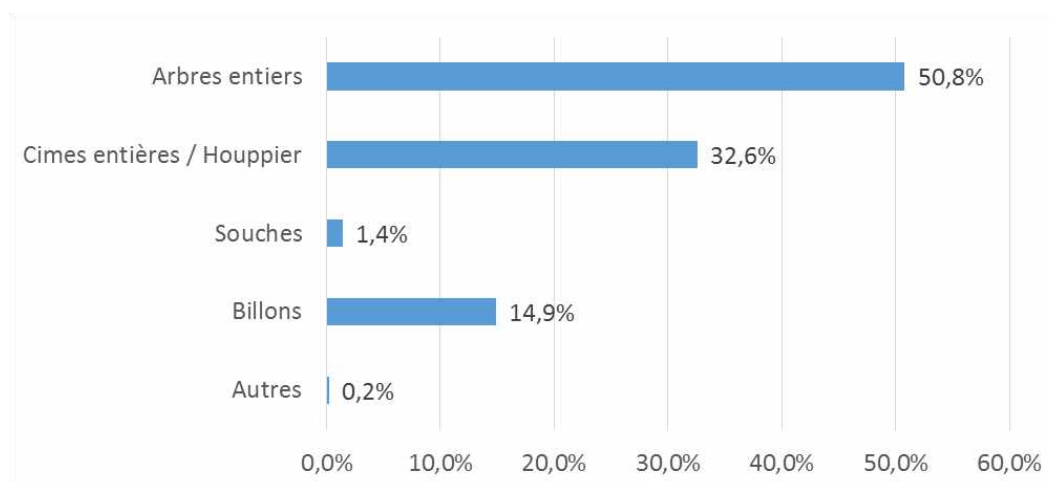


Figure 3. Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type de biomasse.

NB : Les données concernant les récoltes de souches sont sous-estimées car toutes les informations n'ont pu être récupérées.

L'analyse des données présentées précédemment a permis la réalisation de regroupements (Figure 4) constituant les sept modalités les plus fréquemment rencontrées pour l'exploitation des arbres destinées à la production de plaquettes forestières.

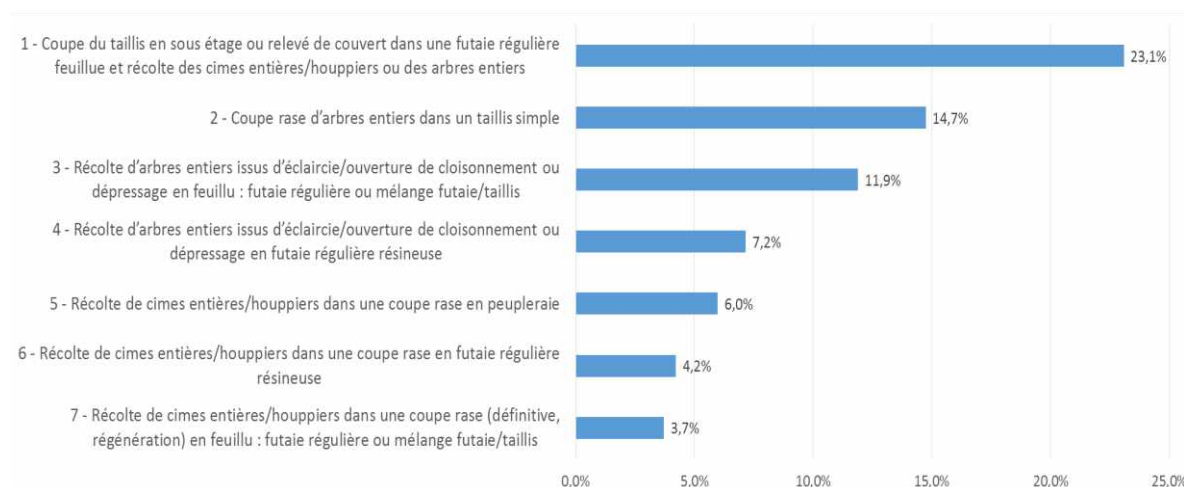


Figure 4. Modalités de récolte les plus fréquentes pour la production de plaquettes forestières.



La modalité 1 regroupe la récolte d'arbres entiers et de cimes entières/houppiers étant donné la similitude de compartiments de biomasse exploités et donc d'éléments minéraux exportés. Ce regroupement n'a cependant pas été réalisé pour :

- la modalité 4 car la récolte des cimes entières/houppiers en résineux signifie un ébranchage conséquent entraînant plus de retour de matière sur parcelle qu'une récolte en arbres entiers ;
- la modalité 5 car les peupleraies dans lesquelles les cimes entières/houppiers sont récoltés sont très différentes des autres peuplements dans lesquelles des arbres entiers sont récoltés (souvent en taillis).

Ces 7 modalités représentent 70,8 % de la récolte, avec 49,8 % pour les 3 premières.

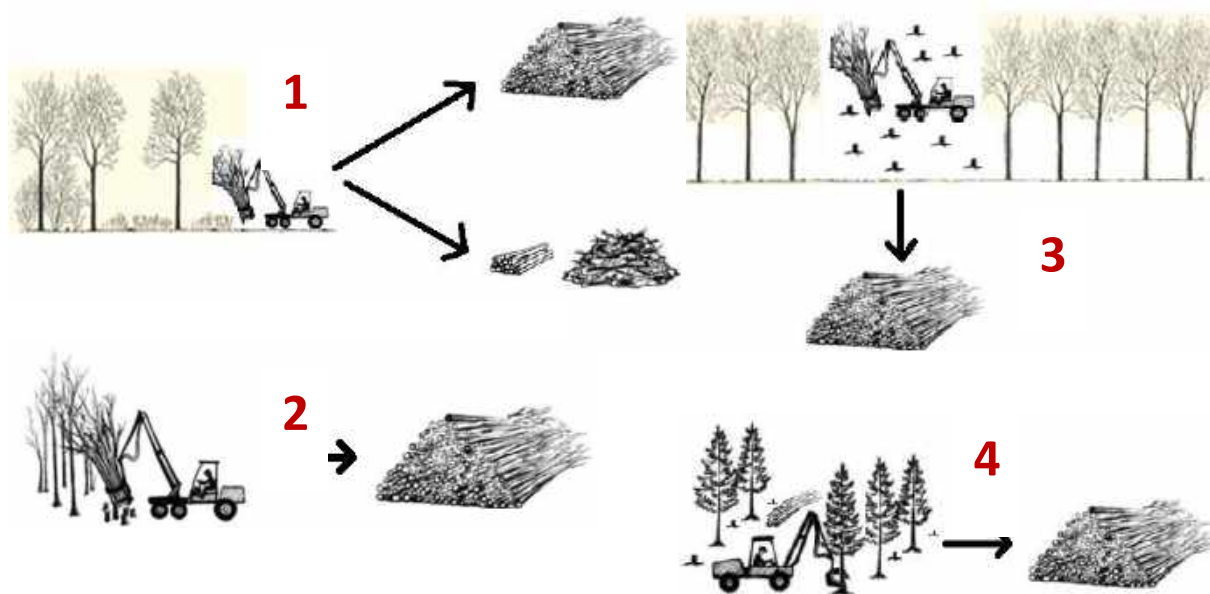


Figure 5. Schéma des 4 modalités les plus représentées (numérotation correspondante à celle de la Figure 4).

1. Coupe du taillis en sous étage ou relevé de couvert dans une futaie régulière feuillue et récolte des cimes entières/houppiers ou des arbres entiers
2. Coupe rase d'arbres entiers dans un taillis simple
3. Récolte d'arbres entiers issus d'éclaircie/ouverture de cloisonnement ou dépressage en feuillu : futaie régulière ou mélange futaie/taillis
4. Récolte d'arbres entiers issus d'éclaircie/ouverture de cloisonnement ou dépressage en futaie régulière résineuse

2.2. Suivi détaillé des chantiers de récolte Bois Energie : objectif et chantiers analysés

Contributeurs : Chloé BOLDRINI (FCBA), Xavier MONTAGNY (FCBA), Emmanuel CACOT (FCBA), Laurent SAINT-ANDRE (INRA), Emila AKROUME (ONF), Christine DELEUZE (ONF), Isabelle BILGER (IRSTEA), Jean-Pierre RENAUD (ONF), Clark RAVELOSON (ONF), Nathalie KORBOULEWSKY (IRSTEA), Abdelwahab BESSAAD (IRSTEA), Loïc COTEL (IRSTEA), Noémie POUSSE (ONF), David PEUCH (FCBA), Christophe PERINOT (FCBA), Nicolas BILOT (ONF puis GCF)

2.2.1. Développement d'un protocole expérimental

Dans les chantiers de l'observatoire, l'objectif recherché est de quantifier, à l'aide d'un protocole expérimental précis, la **minéralomasse exportée lors des opérations de récolte du bois énergie**.



Un protocole spécifique a été défini avec l'ensemble des partenaires pour mener à bien cet observatoire. Il se déploie en 3 phases de mesures, dans un but de comparer la minéralomasse des 3 compartiments que sont le sol, le peuplement (bois vert) et le bois mort du peuplement au cours de l'exploitation :

- Avant le début de l'exploitation,
- Entre abattage et débardage des bois,
- Après débardage des bois.

Les paramètres suivants sont relevés, en s'appuyant sur 2 à 3 placettes de mesure par chantier et des échantillons sur les bois prélevés :

- Informations générales de station, surface, volume exploité, dates et matériel d'exploitation
- Existence/création de cloisonnements
- Données dendrométriques du peuplement : densité, diamètre à 1m30, hauteurs
- Descriptif pédologique : humus, pH, texture, profondeur prospectable, calcaire actif
- Quantité de bois mort au sol : masse, taux d'humidités, teneurs minérales
- Teneurs minérales et taux d'humidité des bois verts après abattage
- Teneurs minérales et taux d'humidité des bois stockés bord de route
- Impacts au sol suite à l'exploitation

Le protocole a beaucoup évolué au fur et à mesure de son application terrain sur différents types de peuplement et types d'exploitation, jusqu'à arriver au protocole actuel dont une présentation diaporama illustrée de sa mise en œuvre et des mesures et analyses réalisées se trouve en **annexe 3**.

La pertinence de la partie du protocole construite autour du compartiment de bois mort a notamment été questionnée suite à son application terrain (cf. paragraphe 2.3.2.2). En effet, le protocole conçu initialement tente de comparer la biomasse de bois mort présente sur une même placette de 25m² au début et à la fin de l'exploitation, dans le but de prendre en compte le déplacement et/ou l'apparition de bois mort lors des manœuvres d'abattage et de débardage. Or il s'est avéré, lors de l'analyse, que ces placettes (au nombre de 2 à 3 par chantiers, sur des parcelles pouvant faire jusqu'à 10 ha) ne suffisent pas à représenter l'hétérogénéité du peuplement et du bois mort présent au sol. (Figure 6).

De plus la partie bois mort représente presque la moitié du temps passé en mesures sur le terrain, elle n'est donc pas efficace en termes de rapport précision de la donnée / temps passé. Un second protocole relatif aux bois morts a ainsi été conçu pour pallier ce défaut (en gardant le même temps de mesure terrain), après discussion entre les partenaires du projet impliqués dans le volet 3. Ce nouveau protocole sera testé sur les chantiers issus du projet DEFIFORBOIS dans le cadre de la thèse en cours d'Abdelwahab Bessaad « Durabilité de l'exploitation de la ressource bois dans un environnement changeant » encadrée par IRSTEA.



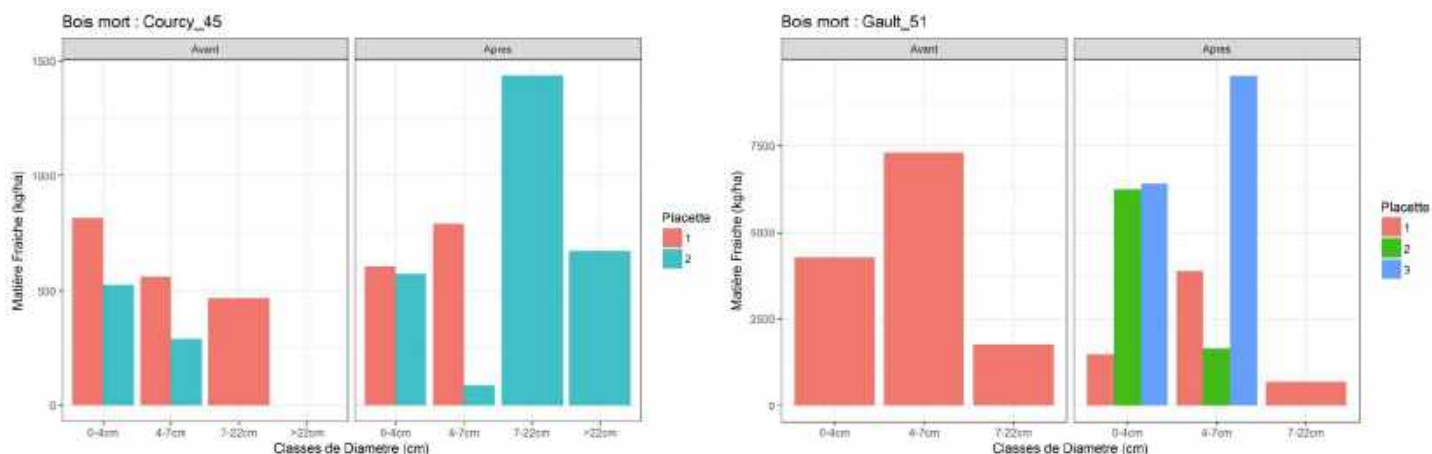


Figure 6. Exemples de variabilité de la biomasse bois mort retrouvée entre placettes sur les chantiers de Courcy et Gault (C. Raveloson).

Ce protocole est relativement lourd et complexe à mettre en œuvre : l'ensemble des opérations depuis la recherche de chantier jusqu'à la rédaction de fiches synthétiques par chantier (avec les différentes étapes de mesures sur chantier, les analyses minérales en laboratoire, l'analyse des données) nécessite de l'ordre de 40-50 H.J par chantier (la moitié sur le terrain). Le nombre total de chantiers suivis a dû être revu à la baisse en conséquence, par rapport à ce qui était initialement prévu. Par ailleurs, plusieurs chantiers ont été retardés suite à la météo très pluvieuse du printemps 2018 qui a engendré un délai de plusieurs mois dans l'exploitation.

2.2.2. Déploiement du protocole, chantiers suivis

Au final, le protocole a été déployé sur 11 chantiers dans toute la France (cf. carte de localisation des chantiers Figure 7). Ce déploiement s'est fait de façon à ce que les chantiers suivis soient représentatifs des modalités de récoltes les plus fréquentes, identifiées grâce à l'enquête nationale menée précédemment.

Par ailleurs, le protocole défini a également été mis en œuvre en synergie dans le cadre de projets régionaux s'intéressant au lien entre la fertilité des sols et la récolte de biomasse :

- 7 chantiers en région Centre Val-de-Loire dans le cadre du projet Defiforbois (PSDR-Région Centre Val de Loire) et,
- 2 chantiers en région Champagne-Ardenne dans le cadre du projet Macobois (AMI Dynamics Bois), communes de Vert-Toulon et Corribert.

Les données issues de ces suivis sont venues compléter la base de données créée dans Gerboise et ont permis d'augmenter le nombre de chantiers suivis à l'aide de ce protocole à vingt. D'autres chantiers sont également en cours de suivi, toujours avec le même protocole, dans le cadre de ces projets régionaux ou d'autres projets. Les données seront aussi compilées dans la base, permettant d'accroître progressivement les connaissances et références sur les modalités de récolte du bois énergie telles que pratiquées.

La liste des chantiers étudiés est présentée ci-après (Figure 7 puis Tableau 1)



chantiers gerboise

- Châtillon-la-Borde
- Eyzin-Pinet
- Compiègne
- Saverne
- Ecquevilly
- Saint-Pierre-de-Côle
- Taradeau
- Chaux
- Le Gault-Soigny
- Reuilly-Sauvigny
- Neuvilly-en-Argonne

chantiers défiforbois

- Saint-Viâtre
- La ville-aux-Clercs
- Sully-la-Chapelle
- Vernou-en-Sologne
- Chilleurs-aux-Bois
- Beaumont-Village

chantiers macobois

- Corribert
- Vert-Toulon

Figure 7. Localisation des chantiers Gerboise, Defiforbois, et Macobois.



Tableau 1. Caractérisation des chantiers suivis dans Gerboise.

Type de gestion	Type d'opération	Produits	En feuilles / hors feuilles	Id_chantier	projet	Département	Commune	Gestionnaire	Surface	Essence majoritaire	Début chantier	durée effective	Fin chantier	Organisme Responsable Mesures		
Mélange futaie-taillis	Ouverture de cloisonnements	arbre entier	hors feuilles	Taradeau_83	Gerboise	83 Var	Taradeau	Expert forestier Avisylva	33 ha total 8,2 ha zone mesurée	Pin d'Alep, Chênes	janv-17	3 mois	avr-17	FCBA		
		arbre entier	en feuilles	Vert_Toulon_51	Macobois	51 Marne	Vert-Toulon	FB&E	30 ha	Chêne, Hêtre, Châtaignier	avr-17	5 mois	sept-17	FCBA		
		arbre entier	hors feuilles	Neuvilly_En_Argonne_55	Gerboise	55 Meuse	Neuvilly en Argonne	/	7 ha	Mélange bois blancs	oct-17			FCBA - INRA		
		arbre entier	en feuilles	Reuilly_Sauvigny_02	Gerboise	02 Aisne	Reuilly-Sauvigny	Coopérative Forestière Marnaise	14,5 ha	Frêne, Chêne,	juin-17	4 mois	sept-17	FCBA		
	coupe du taillis, relevé de couvert	arbre entier	hors feuilles	Chasse_38	Gerboise	38 Isère	Eyzin-Pinet	ONF	10 ha	Chêne, Charme	févr-17	7 - 15 jours			FCBA	
		arbre entier	hors feuilles puis en feuilles	Corribert_51	Macobois	51 Marne	Corribert	Groupement Champenois de l'Aube	7 ha	Charme, Chêne	dec-17			juin-18	FCBA, ONF	
		arbre entier	hors feuilles	Ecquevilly_78	Gerboise	78 Yvelines	ECQUEVILLY	COFOROUEST (UCFF)	1,25 ha	Châtaignier, Chêne	févr-17	03-juin	juin-17		FCBA	
		arbre entier (+piquets+ 3 grumes)	en feuilles	LaVille_41	Défiforbois	41 Loire-et-Cher	La-Ville-Aux-Clercs	Unisylva	2,7 ha	Chêne, Châtaignier	oct-17			Nov-17	IRSTEA	
		arbre entier	en feuilles	Sully_45	Défiforbois	45 Loiret	Sully-la-Chapelle	ONF	14,5 ha	Chêne, Charme	juil-2017			Sept-17	IRSTEA	
		arbre entier	en feuilles	Courcy_45	Défiforbois	45 Loiret	Courcy-aux-Loges	ONF	17 ha	Chêne, Charme	mai-17			Juil-17	IRSTEA	
		arbre entier	en feuilles	Chilleurs_45	Défiforbois	45 Loiret	Chilleurs-aux-Bois	ONF	24,4 ha	Chêne, Charme	juin-juillet-septembre-17				18/09 puis 5/10 puis 10/11 puis ???	IRSTEA
		arbre entier	hors feuilles (1/4) et en feuilles (3/4)	StViatre_41	Défiforbois	41 Loire-et-Cher	Saint-Viatre	Comptoir Des Bois Du Centre	6,3 ha	Châtaignier, Bouleau	février 2017- arret - reprise mai 2017				à venir	IRSTEA
		arbre entier	en feuilles	Vernou_41	Défiforbois	41 Loire-et-Cher	Vernou-en-Sologne	Unisylva	2,2 ha	Châtaignier, Charme	juin-17				à venir	IRSTEA



Type de gestion	Type d'opération	Produits	En feuilles / hors feuilles	Id_chantier	projet	Département	Commune	Gestionnaire	Surface	Essence majoritaire	Début chantier	durée effective	Fin chantier	Organisme Responsable Mesures
		arbre entier + bois buche	en feuilles	Beaumont_37	Défforbois	37 Indre-et-Loire	Beaumont-Village	Unisylva	3 ha	Châtaignier, Chêne	juin-17		à venir	IRSTEA
Futaie régulière / Mélange futaie-taillis	éclaircie	houppier	hors feuilles	Saverne_67	Gerboise	67 Bas-Rhin	Saverne	ONF	7,3 ha	Chêne, Charme, mélange résineux	déc-16	1 semaine abattage	janv-17	INRA - (FCBA)
	Ouverture de cloisonnements/ éclaircie	arbre entier	en feuilles	Chatillon_77	Gerboise	77 Seine et Marne	Chatillon Laborde	FBE (UCFF)	6,80 ha	Chêne, Tilleul, Epicéas	juil-16	3 mois	sept-16	FCBA - IRSTEA - INRA
	Ouverture de cloisonnements	arbre entier	en feuilles	Gault_51	Gerboise	51 Marne	Le Gault-Soigny (Jouy)	FBE (UCFF)	9,6 ha	Chêne, Charme	mai-16			INRA - IRSTEA
Futaie régulière	éclaircie (2ème)	arbre entier	hors feuilles	Compiègne_60	Gerboise	60 Oise	Vieux-Moulin	ONF	8,4 ha	Hêtre	janv-17	3 jours	mars-17	FCBA - IRSTEA - INRA
	coupe d'ensemencement	houppier	hors feuilles	Chaux_39	Gerboise	39 Jura	Etrepigny	ONF	10,1 ha	Chêne, Pin Maritime	sept-17		A venir	FCBA - INRA - ONF
Taillis simple	Coupe rase	arbre entier	en feuilles	StPierre_De_Cole_24	Gerboise	24 Dordogne	St Pierre de Cole	AFB	3 ha	Châtaignier, Pin Maritime	avr-17	1 - 2 semaines	juin-17	FCBA



2.2.3. Analyses minérales des échantillons récoltés

Les échantillons récoltés ont été analysés par l'INRA pour déterminer leur minéralomasse en fonction de l'essence et du diamètre de l'échantillon. C'est la technologie NIRS-MIRS (analyse du spectre lumineux sous proche et moyen infra-rouge) qui a été utilisée, à la suite d'une phase de calibration du matériel en comparant les données obtenues par le NIRS-MIRS avec celles des analyses chimiques classiques, pour pouvoir traiter tous les échantillons. Cette calibration a pris plus de temps que prévu, ce qui a engendré aussi des retards dans la saisie des données brutes d'échantillonnage dans la base de données. Ces données par chantier visent à recalibrer les niveaux de minéralomasse par chantier, puisqu'un effet site a été détecté dans le projet Emerge¹. Cependant ce recalage n'a pas été possible dans le temps imparti. Des valeurs moyennes par essence ont été utilisées (voir paragraphe 2.3 pour la méthodologie) mais il est prévu de reprendre ces analyses dans le projet Défiforbois² pour expliciter des éventuelles nuances par site.

2.2.4. Base de données

Les données brutes ont été compilées dans une base de données (BDD) partagée via la plateforme Sharepoint de FCBA avec les partenaires impliqués dans le volet 3 du projet. Celle-ci a été construite sur tableur informatique, reprend les paramètres relevés ci-dessus et y compile les mesures relevées lors des différentes phases de terrain. L'architecture de cette base de données (Figure 8) est la suivante :

¹ [EMERGE](#) : projet ANR ANR-08-BIOE-003 2009-2013, coordonné par l'ONF, pour " Des évaluations compatibles de volumes, biomasses et minéralomasses en forêt : vers une gestion comptable et durable du bois énergie". Réf à ajouter dans la biblio et à citer : Deleuze et al., 2013, RDVT 39-40, p32-36. Le projet EMERGE pour des tarifs cohérents de volumes et biomasses des essences forestières françaises métropolitaines.

² [DEFIFORBOIS](#) : projet PSDR4 et Région Centre-Val-de-Loire, 2016-2019, coordonné par l'IRSTEA de Nogent-sur-Vernisson, " DEveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre ".



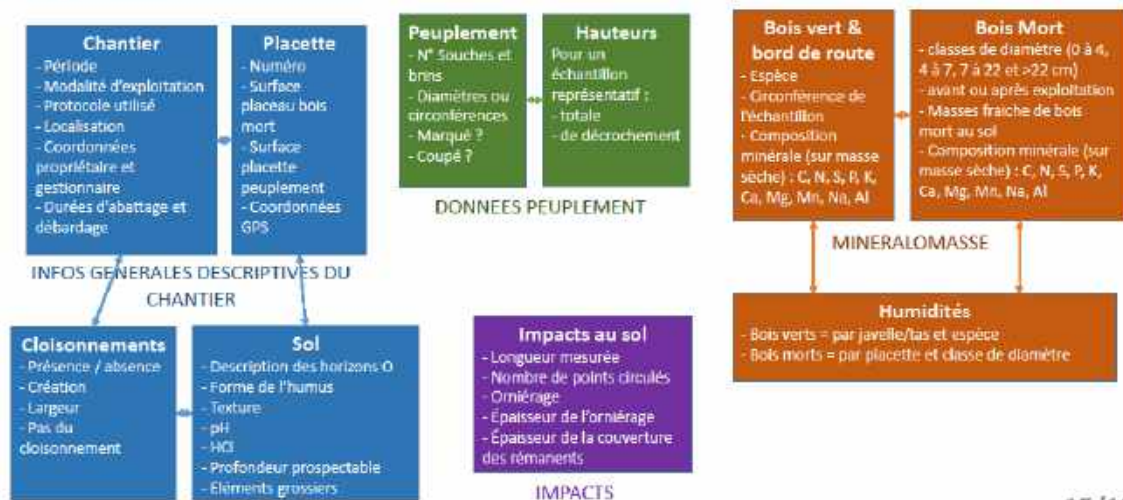


Figure 8. Architecture générale de la base de données GERBOISE

Le format tableur a été retenu par souci de partage simplifié mais la philosophie de la structure du fichier reprend celle d'une base de données, avec un onglet par table et des colonnes d'indexation.

Cette base de données servira pour les projets mettant en œuvre le protocole détaillé en paragraphe 2.2.1) : projets Defiforbois, Tamobiom... Cela permettra de compiler de plus en plus de données afin d'affiner la connaissance des chantiers de récolte de bois énergie et de préciser les recommandations qui en découlent.

2.3. Calculs d'exportations

Contributeurs : Jean-Pierre RENAUD (ONF), Clark RAVELOSON (ONF), Nicolas BILOT (ONF puis GCF), Laurent SAINT-ANDRE (INRA), Emila AKROUME (ONF), Alain BOUVET (FCBA), Holger WERNSDORGFER (APT), Christine DELEUZE (ONF)

2.3.1. Méthodologie de calcul

Le traitement des données comprend plusieurs étapes qui permettent de calculer les exportations à partir des données de la base de données structurée construite (cf. paragraphe 2.2.4 ci-dessus).

2.3.1.1. Variables nécessaires pour les calculs

Le protocole de suivi des chantiers a été présenté en paragraphe 2.2.1 (voir aussi annexe 3). Il permet de recueillir plus précisément pour chaque chantier :

- Sur les 2 à 3 placettes par chantier :
 - o La circonférence à 1,30m (C130) en inventaire complet et hauteur totale (H_{tot}) et de décrochement (H_{dec} : voir protocole IFN expliqué dans Deleuze et al, 2014, RDVT 44 p 34) sur un échantillon représentatif par essence, avant et après coupe ;
 (entrées des modèles d'évaluation de biomasse)

- Masse fraîche du bois mort au sol par catégorie de taille avant coupe et après débardage ;
(pour évaluer le bois coupé laissé au sol, appelé bois mort frais)
- Echantillons de sol pour analyses ou diagnostic Insensé ;
(pour évaluer par exemple les indices de sensibilité à l'exportation)
- Pour les bois prélevés (abattus avant ressuyage sur parcelle et sur tas débardés bord de route) :
 - Echantillons de bois (rondelles) et branches des différentes essences pour analyse des concentrations minérales.

La plupart des chantiers sont mélangés en essence donc un traitement par arbre individuel a été privilégié. Pour l'ensemble des modèles utilisés, les variables nécessaires aux calculs sont : l'essence, le diamètre à 1m30, la hauteur totale et la hauteur de décrochement. Les calculs présentés dans la suite sont dans un premier temps la récupération de ces données individuelles à l'aide d'une modélisation sur l'échantillon disponible, puis le calcul plus exhaustif des volumes, biomasses, minéralomasses par compartiment et découpe pour chaque arbre, enfin l'agrégation de ces données arbres par placette puis la moyenne par chantier.

2.3.1.2. Organisation des traitements par essence

Toute la modélisation se veut générique sur la base des groupes d'essences construits dans Emerge à partir d'informations architecturales, anatomiques et écologiques (Longuetaud et al., 2014, RDVT 44, p18-21). Pour les différents modèles (volumes, minéralomasse), les ajustements se font sur l'ensemble des espèces disponibles, rassemblées par groupe (5 à 12 groupes selon la quantité de données disponibles (cf. Tableau 2). Les paramètres sont ajustés par essence avec un effet groupe (de 5 ou de 12) systématiquement testé pour chaque paramètre (critère AIC). Quand des données étaient disponibles pour une essence précise, les paramètres locaux de l'essence sont alors utilisés. Les valeurs des paramètres du groupe sont attribuées aux autres essences du groupe pour les cas où les ajustements par essence ne sont pas disponibles (C1 pour érable non spécifié et houx, A2 pour genévrier et cade, D2 pour aubépine et aulne glutineux).

Les essences répertoriées dans les chantiers Gerboise sont indiquées en gras dans le tableau suivant (le code couleur sera repris plus loin dans les graphiques) :

Tableau 2. Organisation des principales essences et en particulier des essences rencontrées dans Gerboise selon les 5 ou 12 groupes construits dans le projet Emerge (Longuetaud et al, 2014).

Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E
A1 : <i>Cryptomeria japonica</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Sequoia sempervirens</i>	B1 : <i>Cedrus atlantica</i> , <i>Cedrus libani</i> , <i>Larix decidua</i> , <i>Larix kaempferi</i> , <i>Larix leptolepis</i> , <i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus strobus</i>	C1 : <i>Acer campestre</i> , <i>Acer platanoides</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Acer sp.</i> , <i>Cornus mas</i>	D1 : <i>Corylus avellana</i> , <i>Eucalyptus sp.</i> , <i>Ulmus sp.</i>	E1 : <i>Castanea sativa</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus rubra</i>



<p>A2 : <i>Cupressocyparis leylandii</i>, <i>Cupressus sempervirens</i>, <i>Cupressus sp.</i>, <i>Juniperus sp.</i></p>	<p>B2 : <i>Pinus halepensis</i>, <i>Pinus laricio</i>, <i>Pinus mugo</i>, <i>Pinus nigra</i>, <i>Pinus nigra ssp pallasiana</i>, <i>Pinus pinaster</i>, <i>Pinus pinea</i>, <i>Pinus sp.</i>, <i>Pinus sylvestris</i>, <i>Pinus uncinata</i></p>	<p>C2 : fruitiers divers, <i>Juglans sp.</i>, <i>Liriodendron tulipifera</i>, <i>Olea europea</i>, <i>Platanus hispanica</i>, <i>Platanus sp.</i>, <i>Prunus avium</i>, <i>Prunus sp.</i>, <i>Sorbus aucuparia</i>, <i>Sorbus torminalis</i></p>	<p>D2 : <i>Alnus glutinosa</i>, <i>Alnus sp.</i>, <i>Alnus viridis</i>, <i>Arbutus unedo</i>, <i>Betula sp.</i>, <i>Crataegus sp.</i>, <i>feuillu exotique</i>, <i>Laburnum anagyroides</i>, <i>Laburnum sp.</i>, <i>Populus nigra</i>, <i>Populus non_sélectionné</i>, <i>Populus sélectionné</i>, <i>Populus sp.</i>, <i>Populus tremula</i>, <i>Robinia pseudoacacia</i>, <i>Salix sp.</i>, <i>Tamarix gallica</i>, <i>Tilia sp.</i></p>	<p>E2 : <i>Celtis australis</i>, <i>Morus alba</i>, <i>Morus sp.</i>, <i>Quercus cerris</i>, <i>Quercus palustris</i>, <i>Quercus petraea</i>, <i>Quercus pubescens</i>, <i>Quercus pyrenaica</i>, <i>Quercus robur</i>, <i>Quercus suber</i>, <i>Quercus toza</i></p>
<p>A3 : <i>Abies alba</i>, <i>Abies concolor</i>, <i>Abies grandis</i>, <i>Abies nordmanniana</i>, <i>Picea abies</i>, <i>Picea sitchensis</i>, <i>Thuja plicata</i>, <i>Tsuga heterophylla</i></p>		<p>C3 : <i>Carpinus betulus</i>, <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Fraxinus sp.</i>, <i>Ostrya sp.</i>, <i>Taxus baccatta</i></p>		

2.3.1.3. Hauteurs de tous les arbres des inventaires

Les hauteurs de tous les arbres sont calculées à partir d'un modèle de hauteur-circonférence construit dans le projet Foresee (Saint-André et al, 2013) et ajusté sur l'échantillon disponible par chantier et par essence (le paramètre « a » positionne l'asymptote tandis que « b » et « c » sont des paramètres de forme, H_tot est la hauteur totale d'un arbre et C₁₃₀ sa circonférence à 1m30) :

$$H_{tot} = e^{(a-bC_{130}^{-c})}$$

Pour certaines essences, la tendance générale de tous les arbres de la même essence, permet de rassembler les données et d'ajuster une équation commune (exemple à gauche pour tous les châtaigniers). Pour d'autres, l'effectif est trop faible pour que l'ajustement converge, et la forme de l'équation a alors été ajustée sur les données IFN, puis le percentile correspondant est recalé sur l'échantillon Gerboise (exemple à droite sur mélèze).



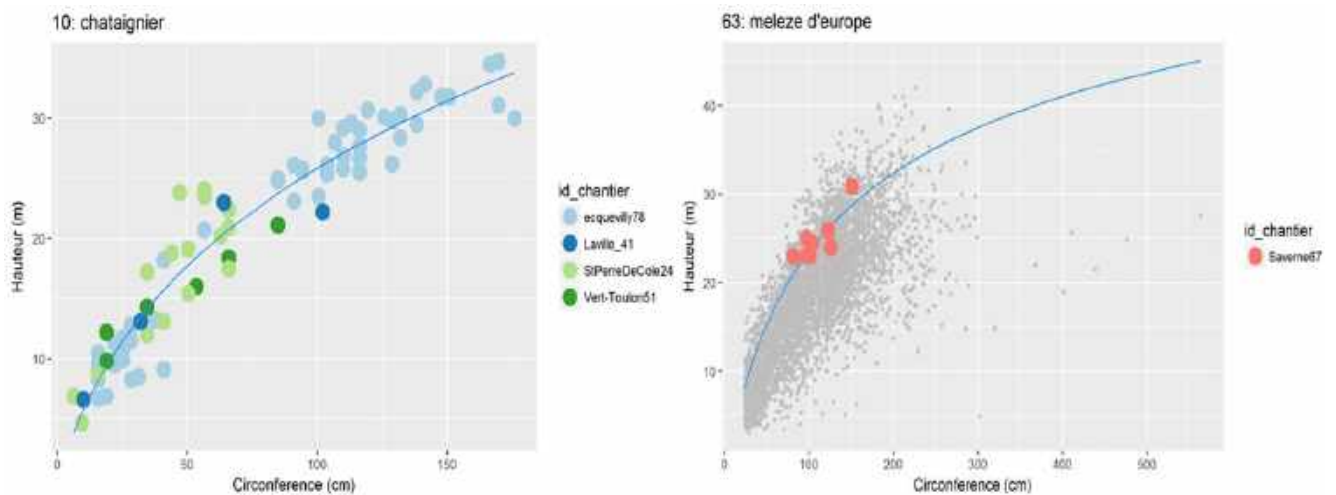


Figure 9. Exemples d’ajustements du modèle hauteur-circonférence avec deux cas : ajustement par essence à gauche sur les données Gerboise pour le châtaignier et à droite sur les données IFN car trop peu de données disponibles sur Mélèze.

2.3.1.4. Ratio moyen Hdec / Htot par essence et catégorie de taille

Le protocole initial prévoyait la mesure de Hdec sur l’échantillon des arbres mesurés en hauteur qui étaient choisis pour être représentatifs des différentes hauteurs présentes dans l’inventaire dendrométrique. Quand les mesures ont été faites sur un échantillon suffisamment représentatif par essence, la hauteur de décrochement des autres arbres est estimée à partir de Htot (rapport Hdec/Htot supposé stable par essence et chantier).

Quand ces mesures n’ont pas été faites, une approximation est réalisée en analysant des valeurs moyennes de Hdec/Htot sur les données IFN des essences sur les régions considérées.



2.3.1.5. Volume de bois

Tous les volumes sont ensuite calculés à l'aide des fonctions, issues du projet Emerge, estimées par essence ou groupe d'essence, par compartiment (tige et branches) et selon les découpes 0 (jusqu'à l'apex de la tige ou des branches), 4, 7 et 22 cm (à partir des informations essence, C130, Htot, Hdec).

Le calcul de volume par arbre se fait en 3 étapes (volume total, part tige et houppier, puis part selon découpe dans la tige ou le houppier) :

Coefficient de forme de la tige selon le volume total rapporté au volume d'un cylindre de même hauteur et même base (ramenée à la souche : voir Deleuze et al., 2014, RDVT 44, p22-32) :

avec la transformation de VolTot pour calculer le volume total : $formTot = \frac{4.\pi.VolTot}{h_{tot}.C_{130}^2} \left(1 - \frac{1.3}{h_{tot}}\right)^2$

on a le modèle de volume total par l'équation :

$$formTot = a + b \frac{\sqrt{C_{130}}}{h_{tot}} + c \frac{h_{tot}}{C_{130}}$$

Puis distribué entre tige et branche, avec la variable supplémentaire H_dec (Deleuze et al., 2014, RDVT 44, p33-42) :

$$Part_de_Tige = \left(d + e. \ln \left(\frac{h_{dec}}{h_{tot} - h_{dec}} \right) + f \frac{\sqrt{C_{130}}}{h_{tot}} + \frac{g}{C_{130}} \right)$$

Et par découpe dans la tige ou dans le houppier (cumul de la base jusqu'à la découpe Cdec; Résultats publiés dans le même article que précédemment pour la tige et non publiés pour le houppier, interne ONF, testé par l'IGN dans le projet européen DIABOLO) :

$$Part_Tige_jusque_déc_Cdec = 1 - \frac{C_{dec}^3}{C_{130}^3} \left(1 - \frac{1.30}{h_{tot}}\right)$$

Part_Houppier_jusque_déc_Cdec

$$= \left(1 - \left(\frac{C_{dec}}{C_{130}} \right) \left(1 - \frac{1.30}{h_{tot}}\right) \left(\frac{3-B}{3\alpha} \left(\frac{1}{Part_de_Tige} - 1 \right) \right)^{-1/3} \right)^{3-B}$$

On en déduit des volumes par arbre, tige et branches, selon les découpes 0-4, 4-7, 7-22 et >22 cm par différence entre les volumes totaux, découpe 4, découpe 7, découpe 22.

2.3.1.6. Biomasses de bois

Les biomasses de chacun de ces compartiments sont obtenues ensuite par multiplication des volumes par les infradensités moyennes par essence établies par Jean-Luc Dupouey dans Carbofor (utilisé actuellement par l'IGN pour le reporting biomasse) et revues par Fleur Longuetaud dans Emerge (publication prévue).



2.3.1.7. Biomasses de feuilles

Aucune donnée n'était disponible directement sur les chantiers pour évaluer les biomasses de feuilles. Seul un modèle existe pour la biomasse de feuilles de peuplements de hêtre (Genet *et al.*, 2012), qui montre un lien de cette biomasse par arbre avec la grandeur diamètre²xhauteur.

Pour élargir ce modèle à d'autres essences, nous avons utilisé les mesures de pesées de litières des peuplements RENECOFOR (REseau National de suivi à long terme des ECOsystèmes FORestiers). Un premier travail avait été réalisé par Marc Peaucelle (Peaucelle, 2011). Il montrait cette fois une corrélation entre la surface terrière et la biomasse de litière du peuplement. Les données mesurées juste après les éclaircies sont enlevées pour rester sur des peuplements pleins et une approximation est faite entre litière annuelle et feuillage total des résineux (vrai en cas de biomasse foliaire stable).

Nous avons utilisé cette information pour détecter une corrélation plus générale entre la biomasse foliaire et la surface terrière G, en prenant l'essence principale d'un peuplement. Il est difficile de distinguer une relation par essence faute de points. En revanche les essences ont pu être regroupées en 3 groupes : les groupes résineux A et B, et le groupe Déci des feuillus (groupes C+D+E d'Emerge). Plusieurs formes de modèles ont été testées et un modèle logarithmique a donné les meilleurs ajustements. Les biomasses totales de feuillage ont été estimées par cette allométrie et la part de feuillage enlevée pour les arbres coupés est calculée au prorata du G prélevé. Le feuillage, contrairement aux autres compartiments est donc estimé globalement pour la part de peuplement coupé, et aucune hypothèse de ressuyage n'est ajoutée à ce calcul (perte de feuillage).

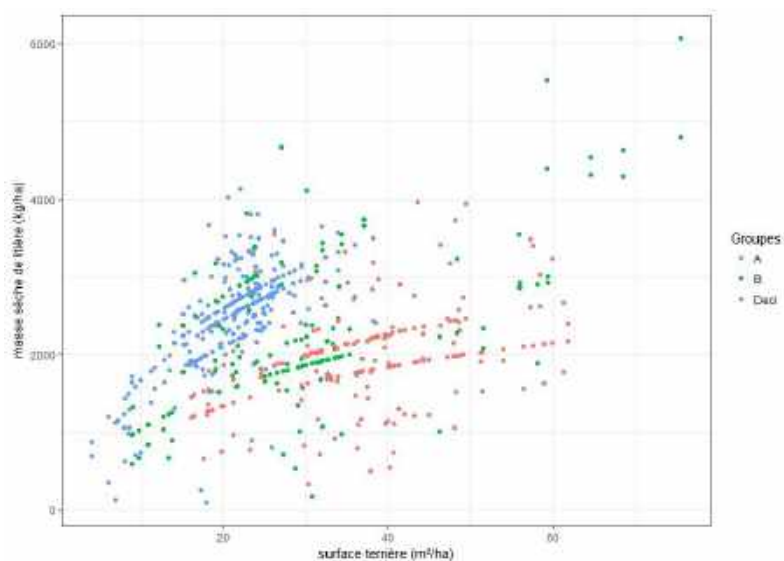


Figure 10. Ajustement du modèle de biomasse foliaire en fonction de la surface terrière sur les données RENECOFOR et par groupes (A et B groupes EMERGE et Déci pour l'ensemble des feuillus).

2.3.1.8. Quantités de minéraux du bois



Les modèles de minéralomasse ont été établis pour le hêtre pendant le projet Emerge (Wernsdörfer *et al.*, 2014), tandis que des données sur plus d'essences étaient rassemblées au cours du même projet (Saint-André *et al.*, 2014). Ce fichier de données a été complété par Laurent Saint-André (au final 3400 à 3830 données pour 5 à 15 essences selon l'élément considéré) et un modèle plus général a été ajusté pendant le projet Gerboise pour chaque éléments (N, P, K, Ca ou Mg) sur l'ensemble des essences (pour les 5 groupes A, B, C, D et E) et en tenant compte de la taille des compartiments (découpe moyenne du compartiment). Les concentrations très différenciées entre écorce et bois, et disponibles soit pour le bois (B) ou l'écorce(B), ou la rondelle entière (B+E), ont nécessité la prise en compte par ailleurs du taux d'écorce. Celle-ci a été réalisée en lien avec le projet ExtraForEst³ à la suite des premiers travaux du projet Emerge sur plus d'un million de données IGN et plusieurs milliers de données recherche (Bouvet et Deleuze, 2013). Le modèle, pour chacun des éléments (N, P, K, Ca, Mg), tient compte de la taille du compartiment, de l'essence (5 groupes), et du tissu (bois B ou écorce E) :

$$[Min] \frac{B(1 - T_{xec}) \left(\frac{a * D_{compart} + (b + d) + \sqrt{(a * D_{compart} + (b - d))^2 + 4m}}{2} \right) + f E T_{xec}}{B(1 - T_{xec}) + E T_{xec}}$$

Pour chaque élément, l'effet groupe d'essence est testé sur chaque paramètre et un effet aléatoire essence dans le groupe est ajouté. Un effet site secondaire a été aussi testé sur les modèles et ressort le plus souvent sur la concentration de l'écorce. Des rondelles des bois abattus ont été prélevées dans le protocole Gerboise pour des analyses minérales, qui permettront à terme d'enrichir cette première base de données et surtout de recalibrer des effets site pour chaque chantier, mais toutes les mesures n'étaient pas disponibles au moment de ces ajustements. Dans la suite, ce sont des modèles moyens sans effet site qui ont été utilisés pour les calculs d'exportation. Il est prévu de prendre en compte l'effet site dans le cadre du projet Défiforbois.

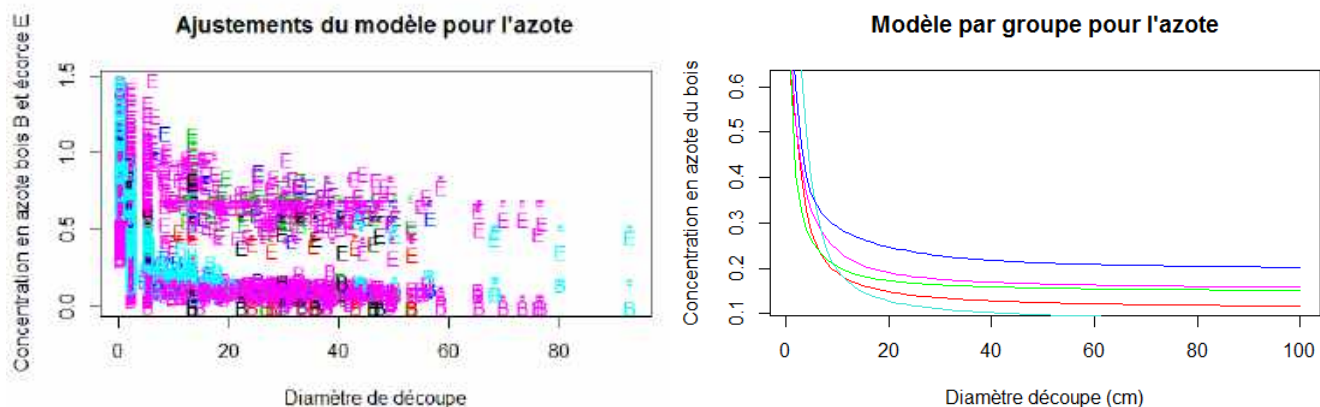


Figure 11. Ajustement à gauche (couleurs des groupes du tableau des essences, B pour Bois et E pour Ecorce). A droite sont représentés les modèles azote pour le bois uniquement pour les 5 groupes (même code couleurs).

³ <https://www6.inra.fr/extraforest>



2.3.1.9. Quantités de minéraux du feuillage

Les données INRA disponibles pour les feuilles étaient en trop faible quantité pour faire les mêmes modèles (disponibles surtout pour le hêtre).

La minéralomasse des feuilles a été calculée à partir des concentrations moyennes mesurées sur le réseau RENECOFOR sur feuillage vivant. A nouveau, 3 groupes ont été considérés : A pour les résineux de structure (sapin, épicéa, douglas), B pour les pins et Déci pour l'ensemble des feuillus. La figure ci-dessous illustre ces données pour les teneurs en azote et phosphore (ramené au poids sec des feuilles) :

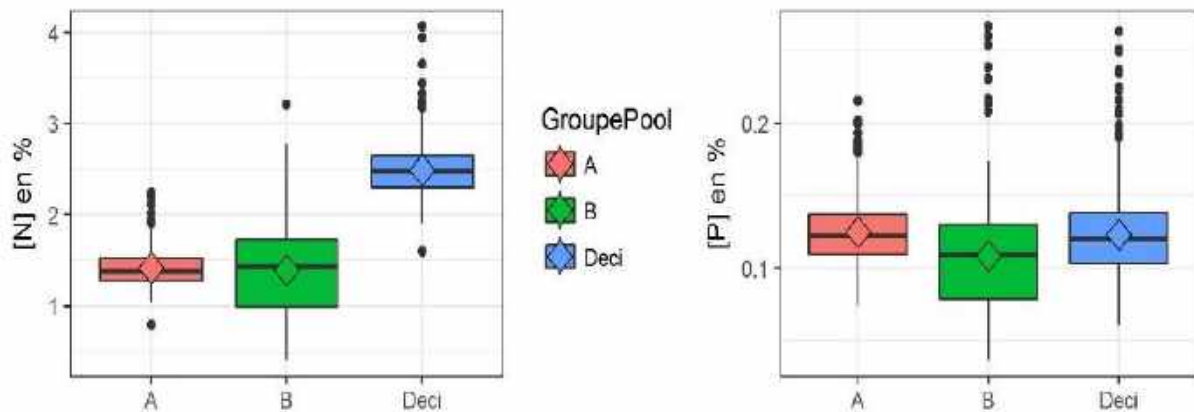


Figure 12 : concentrations moyennes en azote à gauche et en phosphore à droite issues des données RENECOFOR et pour les 3 groupes d'essences définis pour le feuillage

2.3.1.10. Exportations totales calculées

L'ensemble des calculs précédents permet d'estimer la distribution en biomasse et minéralomasse pour tous les éléments considérés des arbres exploités dans un chantier, ainsi que celle des arbres restants, puis de sommer ces valeurs pour obtenir les exportations de la coupe entière ramenée à l'hectare. Le calcul pour le feuillage est de son côté déjà à l'échelle du peuplement. L'ensemble de cette chaîne de calcul a été implémentée dans un script R par Clark Raveloson, en stage M2 encadré par Jean-Pierre Renaud, à l'ONF-RDI de Nancy. Le schéma d'enchaînement des calculs est présenté dans la figure suivante (Raveloson, 2018) :



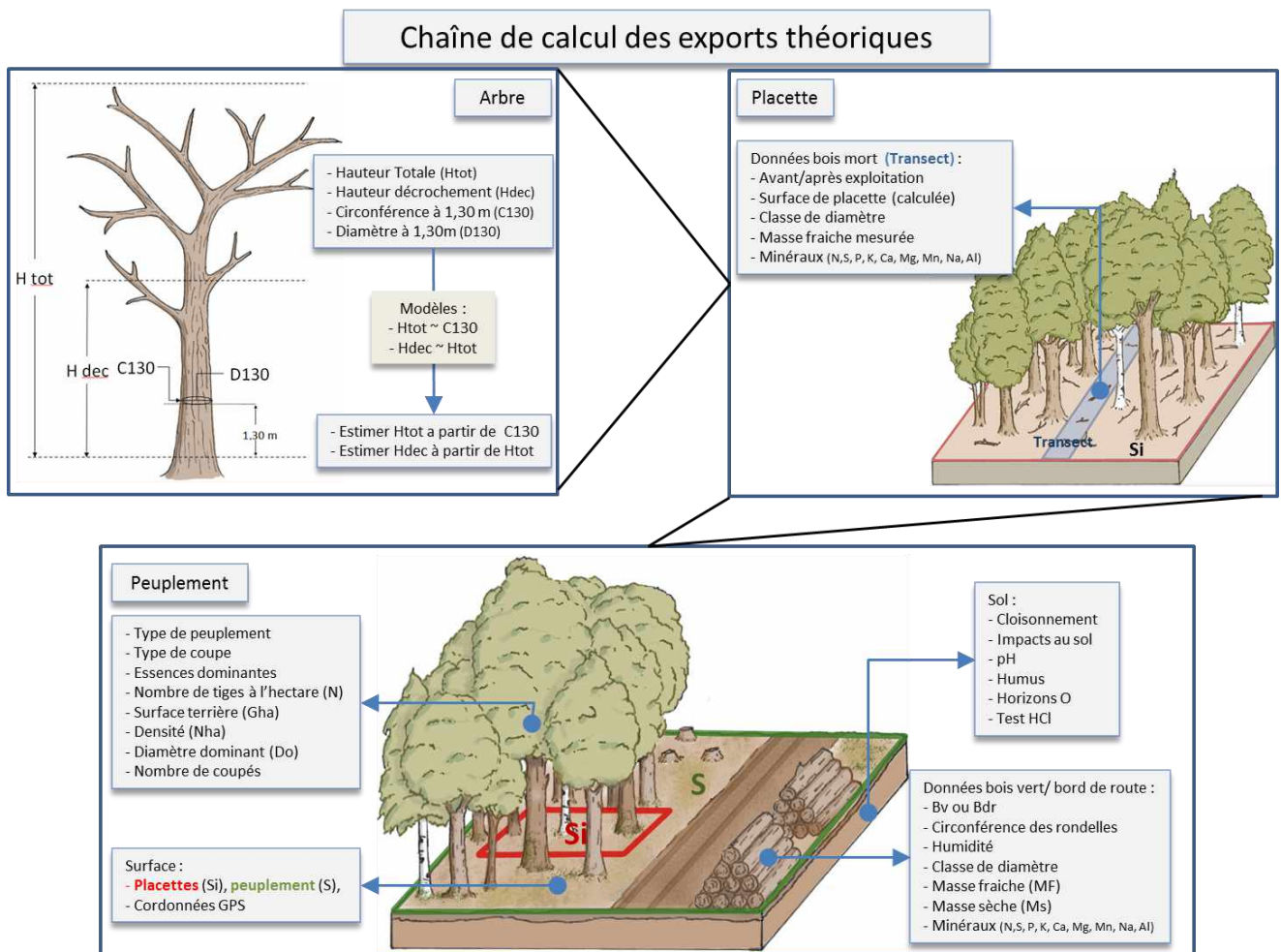


Figure 13. Enchaînement des données utilisées à différentes échelles et calculs mis en œuvre dans la chaîne de calcul Gerboise (©Clark Raveloson, 2018).

Aussi bien pour le calcul sur les feuilles que pour les représentations graphiques par essence, une essence principale est donnée par placette et par chantier (selon le maximum en surface terrière). En revanche tous les autres calculs sont bien effectués par arbre en tenant compte des essences, puis agrégés à l'échelle de la placette puis du chantier.

A noter le cas des ouvertures de cloisonnement, où le calcul se fait en évaluant la part de bois coupée à partir de la dendrométrie du peuplement initial, rapportée à la part de cloisonnement sur l'entraxe.

2.3.1.11. Variation du bois mort au sol

Un enjeu important du protocole de suivi des chantiers était d'évaluer la quantité de bois restant au sol lors d'une exploitation et en particulier les menus-bois (diamètre <7 cm). Les premiers chiffres recueillis par David Achat dans sa méta-analyse donnaient des pourcentages moyens entre 40 et 50 % de menus-bois restant au sol, 60 % des feuilles (Achat *et al.*, 2015). Ces pertes de bois frais restant au sol étaient données pour très peu de chantiers français et avec des méthodes anciennes de récolte. L'observation de chantiers plus récents, avec récolte d'arbres entiers très rapidement après l'abattage,



voire immédiatement après, pouvait laisser penser à des parts résiduelles beaucoup plus faibles de bois frais laissé au sol.

Les données analysées pour répondre à cette question sont celles mesurées sur une bande de 1m de large tout le long des placettes de mesure du peuplement (1 à 3 maximum, le plus souvent pour 2 placettes).

Des échantillons sont systématiquement prélevés pour chaque bande, par classe de diamètre et avant/après exploitation, afin de calculer une humidité du bois et transformer toutes les pesées fraîches en tonne sèche à l'hectare.

Avant l'exploitation, tout le bois est trié et rassemblé en bout de bande échantillon par catégorie de taille ou découpe (0-4, 4-7, 7-22 et plus de 22 cm de découpe). Cette première mesure conduit inévitablement à une vidange complète du bois mort initialement présent sur la bande.

Ensuite la même mesure est réalisée une fois le débardage terminé. Selon les chantiers, cette seconde mesure donne directement le bois mort frais laissé sur la coupe, ou parfois l'action de débardage crée un transfert latéral de bois mort, déplacé avec la récolte des bois lors de l'abattage, ou l'enlèvement des javelles ou de troncs. Enfin certaines bandes n'ont pas été réalisées au même endroit (exemple de Taradeau).

Ces différentes nuances ont été discutées lors des premiers calculs de bois mort laissés au sol, et afin d'identifier plus explicitement la part de bois frais laissée au sol, plusieurs hypothèses de calcul ont été proposées par le comité de pilotage :

Hypothèse 1, toute la bande a été vidangée et le bois mort après récolte est considéré comme étant uniquement du bois frais issus de l'exploitation :

$$\text{Part de bois frais laissé sur coupe (hypothèse sans transfert latéral)} = \frac{\text{Bois mort mesuré après}}{\text{Bois coupé calculé}}$$

Hypothèse 2, un transfert latéral de bois mort déplacé lors de l'exploitation et du débardage ramène du bois mort déjà au sol avant l'exploitation sur la bande de mesure. On imagine que ce brassage de bois mort est homogénéisé au niveau de la parcelle et donc que tout le bois mort avant est ramené en moyenne :

$$\text{Part de bois frais laissé sur coupe (hyp avec transfert latéral)} = \frac{\text{Bois mort après} - \text{Bois mort avant}}{\text{Bois coupé calculé}}$$

Hypothèse 3 intermédiaire, le transfert latéral complet paraît vraiment trop important et pour rendre compte d'un phénomène assez ponctuel, ce transfert est supposé uniquement réalisé sur le cloisonnement, donc quand on a l'information de longueur de ces cloisonnements, on ne retire le bois mort avant qu'au prorata de la taille du cloisonnement.

Hypothèse 4 intermédiaire, le transfert latéral est supposé uniquement réalisé sur une partie de la bande et ne ramène qu'une partie de bois mort mesuré avant, supposée à dire d'expert de 30 %.

Les bois morts avant ou après sont directement déduits des mesures de bois sur les bandes échantillonnées, ramenées à l'hectare, tandis que le bois coupé calculé est issu de la chaîne de calcul présentée avant.



L'hypothèse 1 donne les valeurs les plus fortes de menus bois frais laissés au sol. A l'inverse l'hypothèse 2 est celle qui donne les estimations les plus faibles, d'ailleurs assez souvent négatives.

L'hypothèse 3 est celle qui semblait la plus réaliste sur quelques chantiers où les cloisonnements étaient existants, mesurés et effectivement bien respectés.

L'hypothèse 4 enfin est celle qui correspond à une généralisation de l'hypothèse 3, pour indiquer un passage partiel sur les bandes, et semble assez cohérente avec l'hypothèse 3, quand l'information est disponible.

Nous proposons en conclusion d'afficher une fourchette de menus-bois laissés au sol en intermédiaire entre les hypothèses 1 et 4.

2.3.2. Résultats des exportations de biomasse et minéralomasse

Fin 2018, l'ensemble de la chaîne de calcul est utilisé sur la base de données actualisée, ce qui permet de faire les calculs sur **18** chantiers (11 chantiers Gerboise, 2 chantiers de MacoBois, 5 de Défiforbois). D'autres chantiers sont en cours et l'idée est d'enrichir cette base partagée et refaire ces calculs régulièrement.

Calculs d'exportation des chantiers à partir des inventaires

Pour chaque chantier, il est possible de calculer à partir des inventaires et des modèles successifs, les biomasses et minéralomasses avant et après, selon les compartiments. Ce sont donc des valeurs théoriques qui ne tiennent pas compte des pertes observées (bois frais laissé au sol au moment de l'exploitation).

Pour la biomasse, cela donne une idée du prélèvement réalisé et de la part représentée par les menus bois (0-4 et 4-7) :



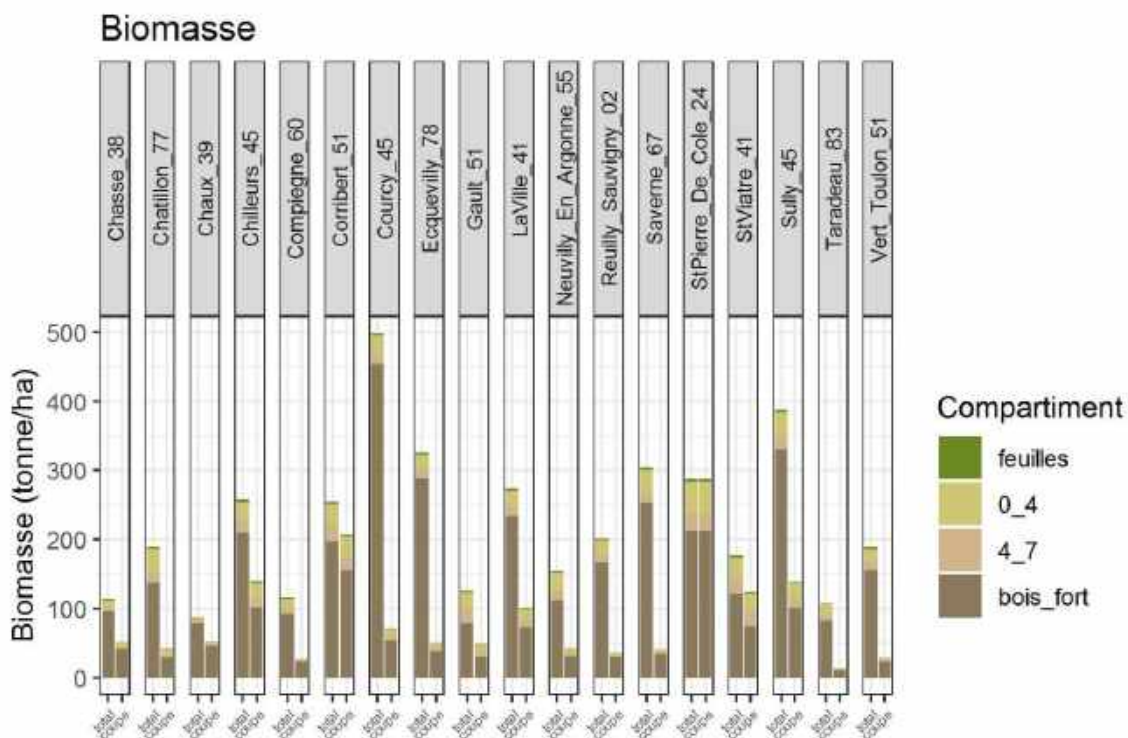


Figure 14. Biomasse avant exploitation et exploitée au cours des 18 chantiers Gerboise, distribuée par taille de compartiment.

Tandis que la même figure pour la minéralomasse, par exemple ci-dessous pour le phosphore, montre des quantités de minéralomasse relativement plus forte dans le feuillage et les menus bois :



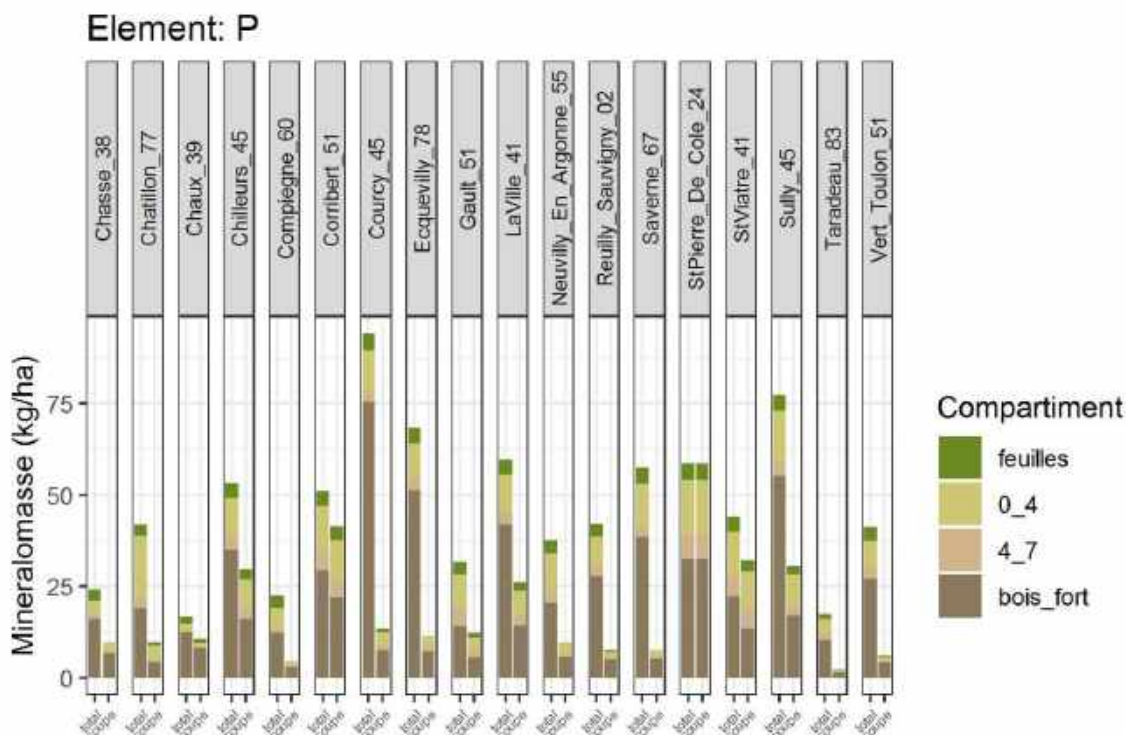


Figure 15. Phosphore avant exploitation et exploité au cours des 18 chantiers Gerboise, distribué par taille de compartiment.

Pour chaque chantier, la part des feuilles et celle des menus-bois représente une très faible partie de la biomasse exportée tandis qu'elle est plus importante pour la minéralomasse (le calcium a une distribution intermédiaire). Les ordres de grandeurs ont été vérifiés sur des publications anciennes et montrent des valeurs cohérentes pour le bois, mais des valeurs un peu faibles pour le feuillage.

2.3.2.1. Variation d'humidité du bois mort

Les mesures en laboratoire permettent d'attribuer une humidité moyenne par bande mesurée (ratio de masse sèche sur masse fraîche), classe de diamètre et phase d'échantillonnage (avant ou après abattage). Il en ressort une énorme variabilité générale et aucune variable explicative simple : l'humidité est plus forte avant ou après selon le chantier, ou la classe de diamètre. Quand plusieurs échantillons ont été prélevés, la variabilité sur un même groupe est large. Pour le bois avant exploitation, elle dépend de l'état de décomposition, mais même sur les mesures après exploitation, donc sur bois frais, la variabilité est très forte. Il a été décidé d'utiliser systématiquement les mesures des échantillons associés pour toutes les pesées de bois mort, sans construire de valeur moyenne par chantier ou classe de diamètre. Cela implique que les mesures d'humidité sont absolument nécessaires pour toute nouvelle pesée et qu'il faudrait plutôt augmenter le nombre d'échantillons. Pour le chantier de Gault, les échantillons d'humidité avant abattage ont été perdus et une valeur moyenne par catégorie de diamètre a été utilisée.



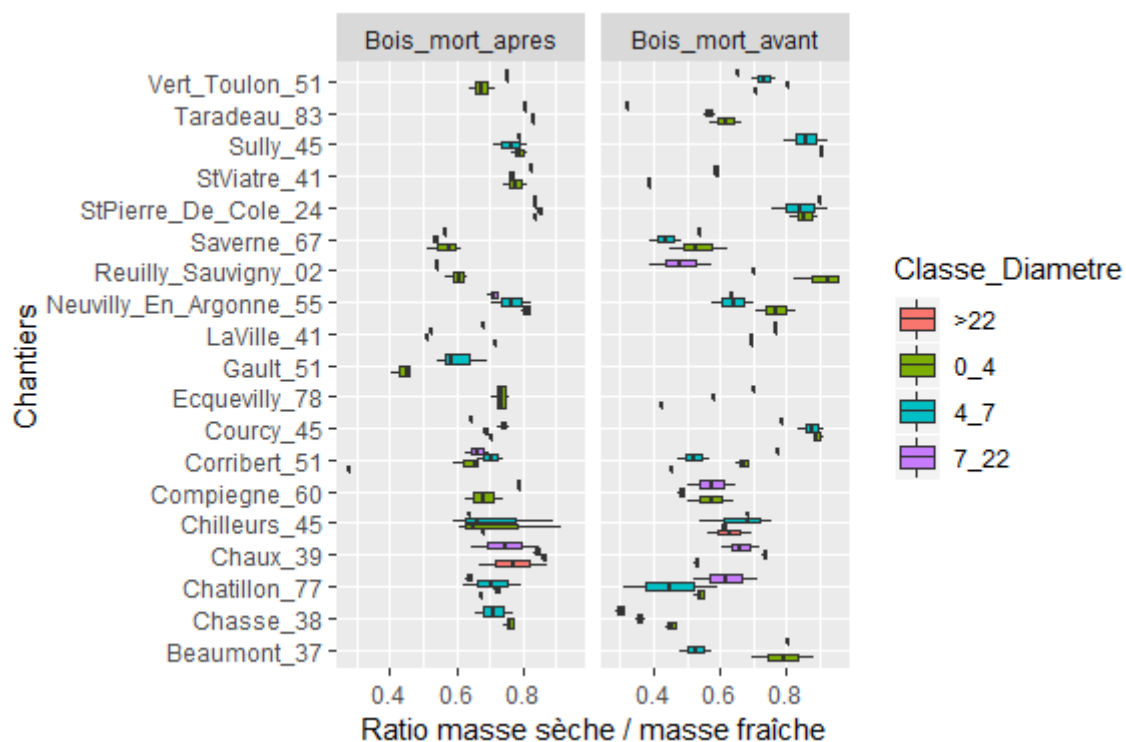


Figure 16. Ratio de masse sèche sur masse humide des différents échantillons récoltés sur les bandes de mesures de bois mort, avant et après débardage.

2.3.2.2. Prise en compte du bois réellement laissé au sol

Le tableau suivant donne les estimations de bois laissé au sol selon les 4 hypothèses retenues. Pour le calcul avec transfert latéral sur le cloisonnement uniquement, seuls 9 chantiers disposent des informations de largeur de cloisonnement. Nous donnons les chiffres pour les menus-bois qui représentent l'enjeu principal d'exportation et sont le mieux évalués sur nos chantiers.

Tableau 3. Calculs de bois frais laissés au sol selon les 4 hypothèses retenues avec proposition d'une fourchette d'hypothèse pour les 0-4 ou 4-7cm. A 0 % aucun bois frais ne reste sur la parcelle, à 100 % au contraire tout est exporté.

Id-chantier	Type de coupe	Essence	Délai de débardage	Diamètre (cm)	0-4cm	4-7cm
Saverne_67	Coupe d'amélioration	Tilleul	0	22,0	41-67 %	51-57 %
LaVille_41	Relevé de couvert	Chêne	<1 mois	9,6	49-60 %	15-29 %
Chasse_38	Coupe rase de taillis	Chêne	1 mois	21,0	13-18 %	>100 %
Reuilly_Sauvigny_02	Ouverture de cloisonnements	Frêne	1 mois	11,9	11-30 %	3-5 %
StPierre_de_Cole_24	Coupe rase de taillis	Châtaignier	1-5 mois	11,4	19-22 %	9-10 %
Sully_45	Relevé de couvert	Chêne	1 mois	17,2	14-20 %	13-16 %
StViatre_41	Relevé de couvert	Châtaignier	1-5 mois	8,8	14 %	13 %
Châtillon_77	Ouverture de cloisonnements	Epicéa de Sitka	2 mois	11,4	56-72 %	23-28 %
Compiègne_60	2 ^{ème} éclaircie	Hêtre	2 mois	15,6	0-37 %	0-11 %
Courcy_45	Relevé de couvert	Chêne	2-3 mois	15,7	17-22 %	10-13 %
Taradeau_83	Ouverture de cloisonnements	Pin d'Alep	2 mois	14,7	0-45 %	0 %
Chilleurs_45	Relevé de couvert	Chêne	2-3 mois	15,7	17-22 %	10-13 %
Ecquevilly_77	Relevé de couvert	Châtaignier	4 mois	18,3	35-44 %	0 %
Neuvilly_en_Argonne_55	Ouverture de cloisonnements	Tremble	4-5 mois	12,0	19-22 %	27-29 %
Vert_Toulon_51	Ouverture de cloisonnements	Chêne	5 mois	14,7	27-87 %	0 %
Chaux_39	Coupe finale	Chêne	10 mois	58,7	36-62 %	>100 %
Gault_51	Ouverture de cloisonnements	Chêne	14 mois	9,2	13-19 %	39-40 %

Le premier et principal résultat de ce suivi de chantier est la constatation d'une **très importante variabilité des mesures de bois mort**. Cette variabilité est associée d'une part à l'hétérogénéité des



coupes et des chantiers (période de coupe, type de coupe, essence, etc.), et d'autre part à une forte hétérogénéité de la répartition de ce bois sur la parcelle, notamment la présence de javelles localisées qui sont peu ou pas représentées dans nos mesures.

Le protocole mis en place a été longuement discuté et amélioré. Irstea, dans le cadre du projet Déforbois (porté par Nathalie Korboulewsky et dans le cadre de la thèse d'Abdelwahab Bessaad), teste des méthodes alternatives pour essayer de capter au mieux l'hétérogénéité des bois au sol. Les premiers résultats portent toutefois sur peu de chantiers, mais démontrent que d'autres méthodes d'échantillonnage seraient à la fois plus faciles à mettre en œuvre (au moins pour les bois de diamètre > 4 cm) et plus pertinentes. Globalement, la comparaison avec le protocole Gerboise montre que ce dernier sous-estime la présence des bois au-delà de 4 cm de découpe, aussi bien avant qu'après coupe, et à l'inverse peut surestimer les plus petits menus bois (<4 cm) laissés au sol après exploitation. Plus précisément, sur les bois au-delà de 4 cm de découpe, la méthode d'un transect linéaire, en mesurant les diamètres de chaque bois mort intercepté serait la plus efficace et donnerait directement un volume grâce à la formule de Huber (Marshall, 2000). En effet, les résultats comparatifs sur un même chantier montrent une sous-estimation de la biomasse au sol d'environ 5 fois en utilisant le protocole Gerboise sur ces plus gros bois. Les transects étant répartis sur l'ensemble de la surface exploitée, la méthode offre une bien meilleure représentativité de la parcelle. Pour le bois mort de 0-4 cm, les différentes méthodes testées sont similaires pour les mesures avant exploitation, en termes de biomasse collectées et de temps de travail. Toutefois, à surface d'échantillonnage équivalente, le positionnement de quadrats répartis régulièrement le long d'un transect rend mieux compte de l'hétérogénéité spatiale. Pour les mesures après exploitation, le protocole Gerboise peut donner une bonne estimation, mais parfois il surestime le bois mort laissé au sol d'un facteur 4 à 5. Ceci confirme que l'hypothèse 1 est optimiste et suggère l'existence d'un transfert latéral avec déplacement de bois vers la bande prélevée, qui peut être important et qui doit être pris en compte dans les données de Gerboise. Le travail est toujours en cours pour augmenter le nombre de chantiers et affiner ces chiffres mais aussi pour préciser le nombre de quadrats, et donc la surface la plus opérationnelle (compromis entre représentativité de la parcelle et robustesse des données-temps de prélèvement).

Suite à ces premiers résultats nous regardons les estimations de bois frais laissé au sol avec les 4 hypothèses et uniquement pour les menus-bois 0-4 et 4-7. L'hypothèse avec transfert latéral complet donne des résultats négatifs et aberrants pour quelques chantiers et il paraît effectivement difficile d'attribuer la quantité initiale de bois mort pour les bois déplacés ponctuellement. L'hypothèse de transfert latéral partiel semble plus raisonnable et est bien en cohérence avec un transfert latéral proposé à dire d'expert de 30 % de la bande pour l'ensemble des chantiers.

La fourchette ainsi consolidée donne une idée des menus-bois restants au sol sur ces chantiers. Pour un tiers des chantiers, cette proportion est seulement entre 10 et 20 %. **Ce premier indicateur permet de montrer que la recommandation du volet 1 de laisser au moins 10 % de menus-bois sur parcelle pour les sols à faible enjeu de fertilité et de biodiversité est à peu près assurée en exploitation courante.** Les fourchettes des autres chantiers sont bien au-dessus et toujours très variables, indiquant des méthodes sans doute assez différentes d'exploitation. Parfois la fourchette des 4-7 est bien plus basse et large que pour 0-4, ce que l'on peut attribuer soit aux difficultés plus grandes d'estimations des 4-7 (cf. tests Irstea) soit à une grande hétérogénéité mal appréhendée avec seulement 1 à 3 bandes mesurées.



Différents facteurs explicatifs ont été testés mais aucune explication simple ne peut être retenue à ce stade : le temps de ressuyage avant débardage semblait l'indicateur le plus prometteur mais des chantiers qui ont ressuyé longtemps comme Gault présentent des exports importants. De même la taille moyenne des tiges ou l'exploitation en feuille ou hors feuilles ne suffisent pas seuls à expliquer ces différences. A noter que les 6 chantiers qui ont laissé le moins de bois frais étaient sur du chêne et plutôt pour des relevés de couvert ou ouvertures de cloisonnement, mais d'autres du même type présentent des pertes au sol plus fortes.

Enfin ces chiffres ne reflètent que bien partiellement la variabilité des conditions de terrain observées.



Figure 17. Photos de chantiers laissant entre 70-100 % en haut ou 10 à 20 % en bas de menus bois au sol (photos Clark Raveloson et Isabelle Bilger)

Les photos montrent des exemples de chantiers avec des pertes de bois frais au sol estimées à 70-100 % en haut ou 10 à 20 % en bas. L'œil est plutôt peu réceptif à ces différences et détectent plutôt les présences de bois plus gros. L'appréciation des menus-bois réellement laissés au sol nécessite vraiment des mesures dédiées.

2.4. Bilan des calculs et discussion

Contributeurs : Jean-Pierre RENAUD (ONF), Clark RAVELOSON (ONF), Chloé BOLDRINI (FCBA), Xavier MONTAGNY (FCBA), Emmanuel CACOT (FCBA), Nicolas BILOT (ONF puis GCF), Laurent SAINT-ANDRE (INRA), Emila AKROUME (ONF), Claudine RICHTER (ONF), Isabelle BILGER (IRSTEA), Nathalie KORBOULEWSKY (IRSTEA), Abdelwahab BESSAAD (IRSTEA), Noémie POUSSE (ONF), (FCBA), Christine DELEUZE (ONF)



2.4.1. Exports minéraux suite aux récoltes de menus bois

L'objectif initial était d'appliquer les parts de bois mort laissés au sol sur les calculs théoriques d'exportation, comme avait pu le faire David Achat en 2015 (Rapport Resobio). Il est difficile ici de choisir un pourcentage moyen à appliquer sur tous les chantiers, et même en prenant les valeurs calculées par chantier, il est problématique de choisir entre les hypothèses alternatives.

Dans la suite des calculs, nous avons donc affiché uniquement les calculs d'exportations de minéralomasse calculés et donc **maximum**, sans introduire d'hypothèse de pertes de bois frais au sol. Pour commencer, nous avons calculé la part d'exportation supplémentaire due à l'exportation des menus-bois et éventuellement des feuilles, par rapport à un export uniquement du bois fort tige et branches. Ces exports sont comparés aux gains en biomasse supplémentaire obtenus par la récolte complète des arbres. Comme pour les études compilées par David Achat, la variable explicative la plus évidente est la taille moyenne des arbres donnée par D_g , le diamètre quadratique du peuplement (la ligne horizontale pointillés est la référence d'exportation totale **bois-fort** de la coupe) :

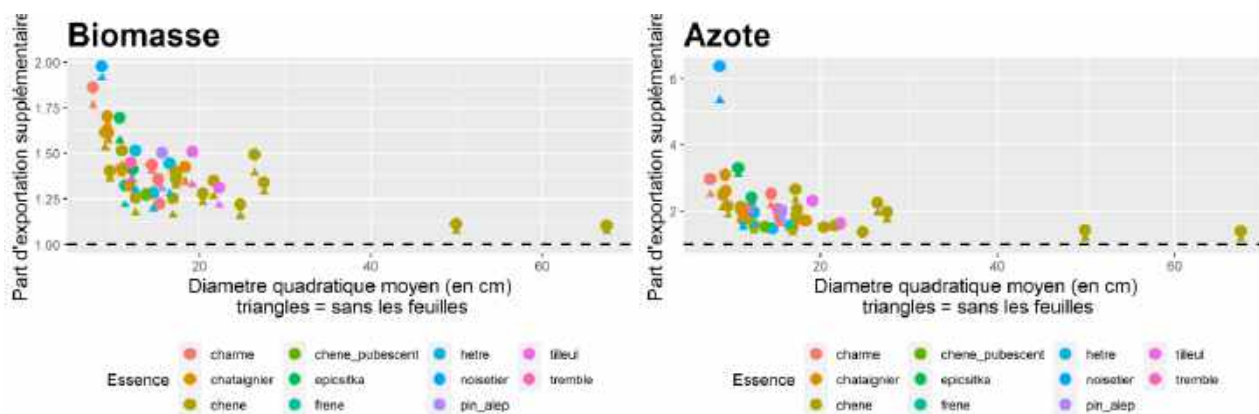


Figure 18. A gauche, rapport entre la biomasse exportée totale (avec (rond) ou sans (triangle) les feuilles) et la biomasse de tige et branches limitée au bois fort (7 cm de diamètre de découpe). A droite, même représentation mais pour les quantités d'azote.

Les graphes pour l'azote sont les plus tranchés et peuvent s'interpréter comme : « une récolte de 50 % supplémentaire en biomasse grâce aux menus-bois, entraîne un export de 200 % de plus d'azote pour les jeunes peuplements ». Nous avons malheureusement très peu de chantiers avec des résineux, car l'échantillonnage visait plutôt les feuillus plus concernés par les récoltes de bois-énergie (cf. résultat de l'enquête présentée dans le paragraphe 2.1), mais il semblerait que ces chantiers entraînent une exportation un peu plus importante en minéraux (points situés plutôt dans le haut du nuage des graphiques ci-dessous).

Ces premiers résultats confirment la métaanalyse de David Achat qui indiquait un seuil de 20 cm de diamètre moyen pour les chantiers feuillus. Il parlait de 10 cm pour résineux mais il n'est pas possible de conclure pour l'instant. Cependant cette méthodologie montre son intérêt ici pour mieux évaluer les seuils critiques.

Pour les autres éléments, les estimations montrent une même tendance avec potassium et phosphore, qui conduisent à des exports jusque 2,5 – 3 fois plus forts, et calcium et magnésium, seulement 2-2,5 fois plus forts. Les calculs avec feuilles (points au lieu de triangles) montrent un surcoût sensible surtout pour N, P, K et Mg, mais qui nous paraît sous-estimé par rapport à d'autres études.

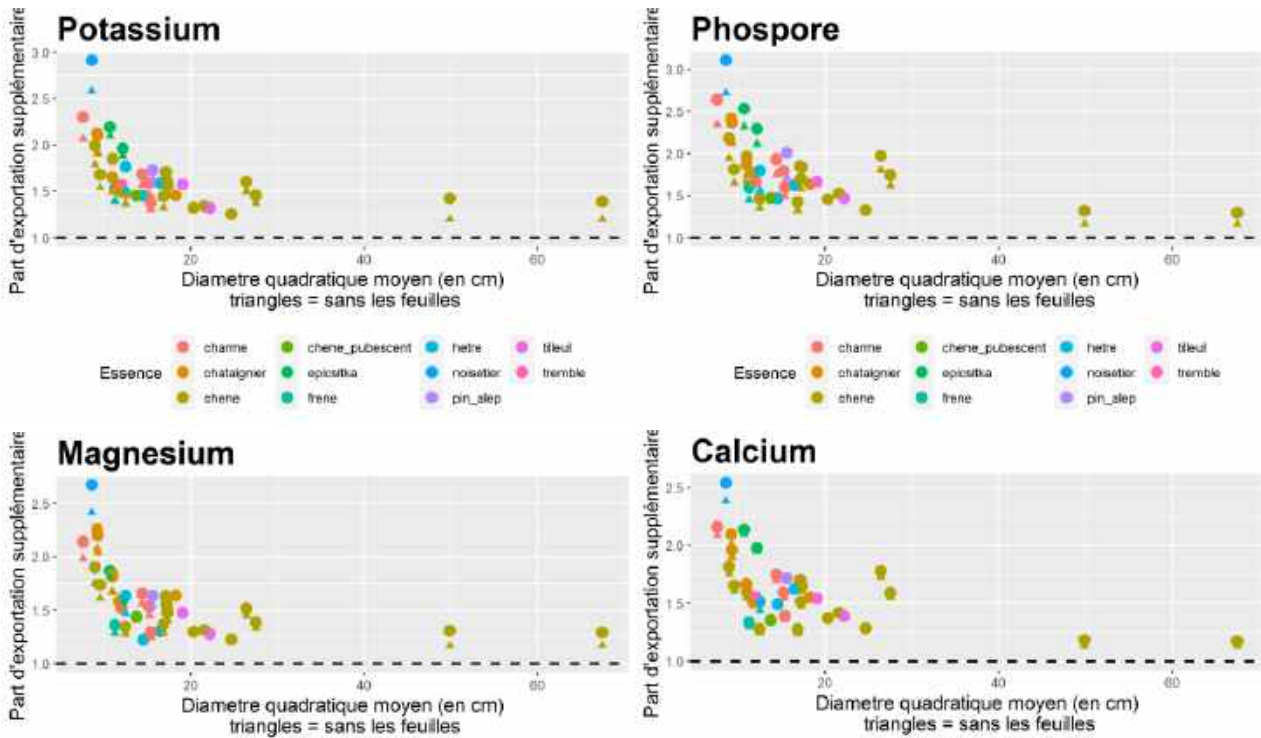


Figure 19. Rapports de minéralomasses exportées calculées pour K, P, Mg et Ca en relatif à l’export de bois fort seul.

Il est possible enfin de calculer un « surcoût d’export » en ramenant cet export supplémentaire de minéralomasse au gain supplémentaire en biomasse. Plus les bois sont de faible diamètre, plus le « surcoût d’export » est important : pour les plus petites tiges, la biomasse est doublée, l’azote exportée multipliée par 6 et le phosphore par 2x1,6 (cf. ci-dessous).

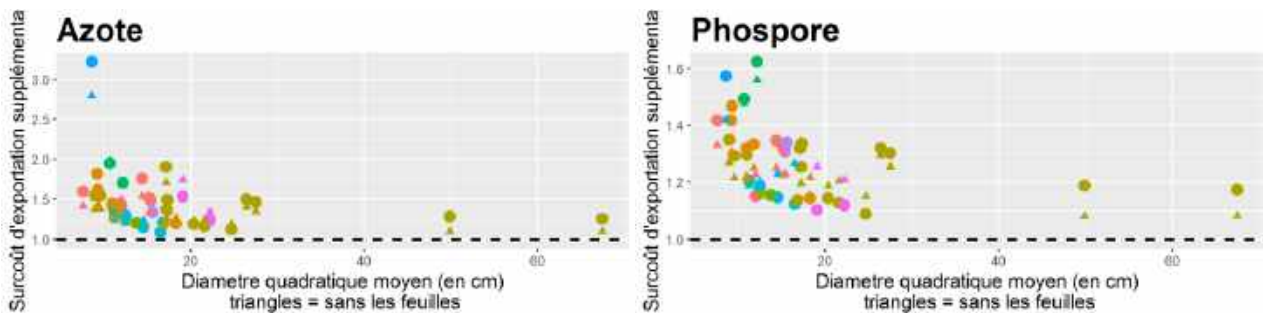


Figure 20. Rapports d’export de minéralomasse supplémentaire rapporté à la récolte supplémentaire de biomasse quand on récolte toute la biomasse (avec menus-bois, avec ou sans feuille) par rapport à une récolte uniquement de bois fort.

2.4.2. Positionnement des chantiers dans les grilles de sensibilité INSENSE

Seuls les chantiers Gerboise ont utilisé le protocole Insensé pour estimer la sensibilité des sols à l’exportation. Des échantillons de sol ont été prélevés sur les chantiers Défiforbois pour une mesure directe, et seront disponibles dans un second temps.



Les deux placettes échantillonnées à Vert-Toulon ne donnent pas les mêmes indications de sensibilité.

Tableau 4 et 5. Répartition des chantiers par classes de sensibilité Gerboise et report des pertes d'exploitation au sol par sensibilité (les pourcentages sont exprimés en proportion de la biomasse récoltée). NB : le Chantier de Gault n'a pas été intégré dans ces calculs.

Chantier	Pertes d'exploitation au sol	
	0-4	4-7
Vert-Toulon	27-87%	0%
Neuvilly-en-Argonne	70-100%	32-50%
Chasse	13-18%	> 100%
Chatillon	56-72%	23-28%
Chaux	36-62%	> 100%
Corribert	19-22%	27-29%
Ecquevilly	35-44%	0%
Reuilly-Sauvigny	11-30%	3-5%
Taradeau	0-45%	0%
Vert-Toulon	27-87%	0%
Compiègne	0-37%	0-11%
StPierre-de-Cole	19-22%	9-10%

Statut de protection de la biodiversité	Sensibilité des sols à l'exportation minérale		
	Faible	Modérée	forte
Pas de statut particulier	Vert-Toulon Neuvilly-en-Argonne	FD Chasse Taradeau Ecquevilly Chatillon Reuilly-Sauvigny Corribert	Gault St Pierre de Cole
Statuts intermédiaires		FD Chaux	FD Compiègne
Statuts forts			

Les fourchettes sont souvent larges mais le seuil de précaution de 30 % sur les sols à sensibilité modérée n'est vérifié la plupart du temps et les deux exemples en sensibilité forte sont carrément avec une forte exportation.

2.4.3. Discussion sur les calculs pour les feuilles

L'export supplémentaire pour les feuilles (symbolisés par des triangles dans les Figure 18 à Figure 20) apporte un gain vraiment négligeable de biomasse (et de la biomasse absolument pas souhaitée par les industriels), mais un export supplémentaire important avec menus-bois et encore plus feuillage, d'autant plus pour azote, puis phosphore et potassium, magnésium. Pour le calcium peu présent dans les feuilles, l'export reste négligeable.

Cependant ces premiers résultats ont été beaucoup discutés au sein du groupe, car la prise en compte du feuillage s'est révélé le point de fragilité principal du suivi des chantiers. La mesure du feuillage avant et après exploitation est évidemment bien plus compliquée que pour les menus-bois, donc le choix avait été fait en amont de ne pas s'intéresser à ces mesures dans un premier temps. Le coût humain de suivi des chantiers (25 HJ sur le terrain par chantier sans compter la suite en laboratoire et



au bureau) ne permet pas d'imaginer introduire le feuillage à moyen terme dans le protocole. Il s'agirait pour cela de mesures plutôt de type recherche, avec des chantiers suivis beaucoup plus finement dans le temps, mais en nombre encore plus limités. De toute façon le bilan bibliographique réalisé pendant Resobio mettait bien l'accent sur l'impact d'export des feuilles sur le fonctionnement ultérieur du système, bien plus que sur la quantité de minéralomasse.

Malgré tout, nous avons essayé cet exercice de calcul du compartiment feuillage avec les éléments disponibles. Le manque cruel de données, à part les données RENECOFOR, indique la difficulté d'assoir nos estimations. Les calculs de minéralomasse par tonne de feuille verte sont en moyenne plutôt dans les valeurs attendues dans la littérature. A titre d'exemple, Bonneau (1995) définit des normes « optimales » de composition foliaires en minéraux allant de 1.2-3 % pour N ; 0.1-0.3 % pour P ; 0.5-2 % pour K ; 0.1-1.5 % pour Ca et 0.1-0.3 % pour Mg. Bien entendu ces teneurs varient notamment en fonction des essences, de l'âge des feuilles ou des qualités stationnelles. En revanche la biomasse foliaire est sans doute mal approchée par notre modèle. Plusieurs travaux anciens montrent des quantités de minéralomasse exportée pour le feuillage du même ordre de grandeur que celles pour les 0-4. Dans les calculs précédents, ces valeurs pour le feuillage sont plutôt plus faibles à beaucoup plus faibles que celles des 0-4. La forme logarithmique retenue pour modéliser la biomasse foliaire est celle qui permet le meilleur ajustement. Cependant les peuplements RENECOFOR sont plutôt matures donc on a peu de peuplements jeunes dans l'échantillon pour caler la forme initiale des modèles. Il serait utile d'échanger avec les éco-physiologistes pour tester une forme un peu plus accentuée de relation biomasse foliaire vs. surface terrière. Les modèles à base de processus montrent des évolutions de biomasses foliaires beaucoup plus rapides et vite saturées à une valeur moyenne. Peut-être qu'une valeur moyenne indépendante de la surface terrière ou en lien avec une variable liée à l'âge serait plus robuste, même si l'ajustement proprement dit pourrait être moins bon. Cependant ce point n'a pas été creusé plus avant dans Gerboise.

2.4.4. Comparaison avec les données rendues usines

Des pesées du chantier complet ont été faites à l'usine, avec des mesures d'humidité associées, afin de comparer ces données aux calculs sur chantiers. Ces données ne sont pas disponibles pour tous les chantiers mais donnent une indication à nouveau de l'énorme hétérogénéité des résultats. Ramenés à l'hectare, on pourrait s'attendre à une masse sèche rendue usine plus faible que la masse sèche calculée totale, en supposant une perte de bois frais au sol, des purges, des pertes lors du débardage et du transport. Les chantiers de Compiègne et Saint-Pierre de Cole sont étonnants en ce sens et même celui de Reuilly-Sauvigny : ce qui laisse penser que sur ces chantiers, les placettes peuplement ne doivent pas être représentatives.



Tableau 6. Comparaison des tonnages rendus usine et des calculs fait à partir des placettes d’inventaire. La dernière colonne estime le volume exploité en tenant compte du bois frais resté au sol.

id_chantier	délai débard	Dg	En feuille	MS_ha_usine	MS_ha_calc	MS_ha_calc_av pertes
Saverne_67	0	22.0	non	23	41	35
Chasse_38	1 mois	21.0	non	36	51	45
Reuilly_Sauvigny_02	1 mois	11.9	oui	34	36	34
Chatillon_77	2 mois	11.4	oui	19	42	32
Compiègne_60	2 mois	15.6	non	52	28	26
Vert_Toulon_51	5 mois	14.7	oui	15	28	25
Gault_51	14 mois	9.2	oui	32	48	43
StPierre_De_Cole_24		11.4	oui	408	283	265

La prise en compte des pertes (ici calcul avec l’hypothèse sans transfert latéral) ne montre pas de grande différence avec le calcul sans perte. Les graphes suivant (sans le point St Pierre-de-Cole) montrent le léger décalage :

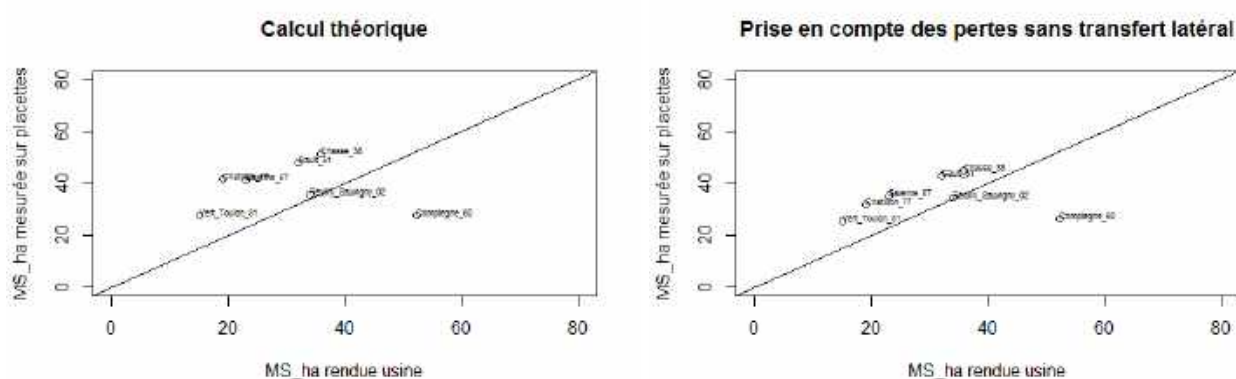


Figure 21. Comparaison des tonnages rendus usine et des tonnages calculés, du Tableau 6. .

2.4.5. Fiches synthétiques par chantier

Enfin, des fiches synthétiques détaillant la biomasse exportée par essence ont été rédigées pour chaque chantier. Ces fiches regroupent également les informations relevant des caractéristiques du peuplement, méthodes d’exploitation (dates d’abattage, débardage, et mesures terrain), et les impacts au sol (surfaces circulées). Les fiches synthétiques des chantiers suivis sont présentées en annexe 4.

Une comparaison inter-chantier n’est pas possible à ce stade au vu de la grande diversité des chantiers suivis, à la fois en fonction du type d’opération mais aussi en fonction des peuplements très différents. Ces fiches serviront également de base de discussion avec les professionnels impliqués dans le projet Macobois, et plus tard dans Tamobiom, pour lancer une discussion avec eux sur les recommandations, leur mise en œuvre...



2.4.6. Perspectives

Ce travail a été l'opportunité de mettre bout à bout un ensemble d'outils pour aboutir au calcul des exportations à partir de la base de données partagée sur le SharePoint de FCBA. Un script R a été construit à l'occasion du stage M2 de Clark Raveloson, avec l'appui d'un large groupe de travail pour nourrir l'ensemble des modèles enchainés. Les premiers modèles de concentration minéralomasse génériques toutes essences ont été construits en reprenant le travail réalisé pendant le projet Emerge. Ils demandent maintenant à être confortés et publiés. Une fois cette publication réalisée, le script pourra être partagé. L'ensemble des calculs (volumes, biomasse, minéralomasse, pour tous les compartiments et les éléments N, P, K, Ca et Mg) ont été implémentés sous R dans un package onfR.

Des améliorations méthodologiques ont été discutées et seront reportées dans le protocole, qui doit continuer à alimenter la base de données partagée grâce aux projets régionaux affiliés (Défiforbois et Macobois).

Des mesures réalisées dans le protocole de concentrations sur bois frais pour tenir compte d'un effet site et sur bois bord de route pour évaluer le ressuyage, n'ont pas pu être valorisées dans le temps du projet mais permettront d'affiner les calculs d'exportation.

Le premier traitement des données a montré un ensemble de limites du protocole Gerboise construit en début de projet et qui a été pour partie discuté :

- Un ensemble d'ajustements a été réalisé sur la base de données, afin d'améliorer le traitement automatique des données partagées sur SharePoint. Un certain nettoyage a été nécessaire et l'utilisation d'un format excel plus facilement partagé, pose quelques limites dans l'archivage de données : il est donc demandé à tous les contributeurs de bien veiller à mettre les mêmes codes et les mêmes notes dans chaque feuille !
- Aucune mesure spécifique n'a été prévue sur le terrain pour quantifier la part de feuillage restant au sol pendant l'exploitation. Les difficultés apparues sur le suivi 0-4 montrent toute la complexité de ce genre de mesure ;
- L'estimation même théorique de la biomasse de feuillage est difficile et la disposition de données pour y répondre est très limitée. Des pistes sont à creuser avec les chercheurs en écophysiologie ;
- Le protocole de suivi du bois mort par bandes de 1m s'est révélé très lourd et peu fiable. Des pistes sont ressorties pour le faire évoluer avec des transects linéaires pour le bois mort de plus de 4 cm (mesure de diamètres et estimation de volume) sur une dizaine de transects, et l'installation de quadrats sur les transects linéaires pour le compartiment 0-4 ;
- Cette chaîne de calcul a vocation à être réutilisée au fur et à mesure de l'enrichissement de la base SharePoint avec par exemple les projets associés Défiforbois et Macobois. Il manque en particulier des chantiers sur résineux non ciblés dans ce premier échantillon et encore des cas de Dg très petits pour mieux cerner le seuil critique de taille ;
- Les 18 premiers chantiers ont montré la lourdeur du protocole qui demande environ 25-30 HJ par chantier sur le terrain et presque autant de temps pour les analyses minérales, puis l'analyse des données et leur synthèse. 11 chantiers ont été réalisés pendant le projet Gerboise, 2 dans le projet MacoBois et 5 chantiers supplémentaires viennent du projet



Défiforbois. Malgré un nombre déjà important de chantiers, la très grande variabilité observée ne permet pas encore de détecter des facteurs explicatifs simples. Toutefois, il semble bien que les relevés de couvert et ouvertures de cloisonnement semblent les plus souvent associés à des pertes faibles de bois frais sur la parcelle. A l'opposé, les coupes de bois les plus petits conduisent toujours à des quantités calculées exportées plus importantes relativement à la biomasse récoltée. L'expertise des résultats par les partenaires ayant conduit ces chantiers apporte quelques explications supplémentaires de contexte (météo défavorable, historique de tempête, utilisation de menus bois pour éviter le tassement dans les cloisonnements). Il faudra compléter ces chantiers pour mieux cerner les facteurs explicatifs.

Au-delà du protocole, un ensemble d'échantillons ont été prélevés pour ajouter un effet site aux modèles de minéralomasse. Ces mesures n'étaient pas toutes disponibles au moment des calculs. Un travail méthodologique reste donc à faire. Pour chaque élément, un effet site a été testé sur chaque paramètre du modèle de minéralomasse, mais ce travail demande à être encore consolidé, en enrichissant le jeu de données. En plus de la prise en compte d'un effet site sur chaque chantier, il serait aussi envisageable de faire une analyse de sensibilité de cet effet site en utilisant la variabilité estimée des paramètres.



3. Evaluation d'outils d'aide à la décision

Contributeurs : Claudine RICHTER (ONF), Emila AKROUME (ONF), Albane MATRICON (ONF), Claude NYS (INRA), Arnaud LEGOUT (INRA), Emmanuel CACOT (FCBA), Jean-Pierre RENAUD (ONF), Christine DELEUZE (ONF)

L'objectif de ce volet méthodologique est de **tester des outils de diagnostic sur l'exportation minérale et le bilan nutritif**. Ils doivent permettre de **qualifier, en termes d'exportation minérale, différentes hypothèses de récolte en tenant compte des conditions réelles d'exploitation des chantiers**.

Il est composé de deux approches :

- la première, accessible à partir des données de chantiers, repose sur la quantification de l'exportation en biomasse et minéralomasse,
- la seconde vise la réalisation de bilans plus complets prenant en compte les pertes en éléments nutritifs et permettant éventuellement d'évaluer des besoins en fertilisation compensatoire.

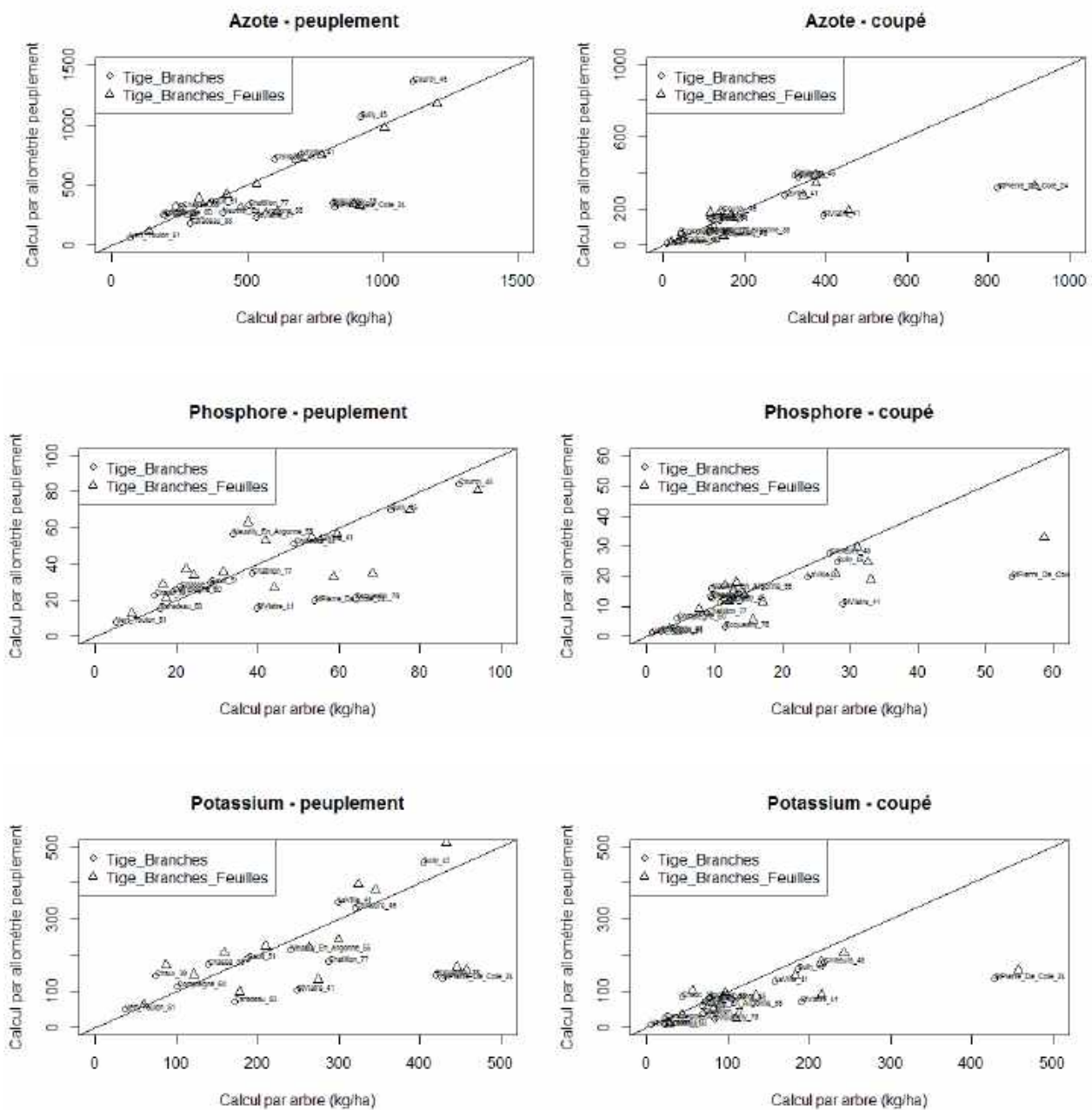
3.1. Test d'un outil de calcul d'exportation à l'échelle peuplement issu du projet Resobio (David Achat)

En parallèle des calculs réalisés pour l'observatoire de GERBOISE (cf. paragraphe 2.3), nous avons testé les équations allométriques qui avaient été ajustées par David Achat dans le projet Resobio, afin d'estimer les minéralomasses exportées en N, P, K, Ca et Mg, selon différentes hypothèses de récolte (tige, avec ou sans branches, avec ou sans feuilles) à partir de la donnée de biomasse totale de tige (Achat *et al.*, 2015). Le choix des paramètres est associé à l'essence principale du chantier, car ces allométries sont basées sur des peuplements purs. Pour châtaignier, chêne, hêtre et tremble, nous avons utilisé directement les relations disponibles, tandis que pour l'épicéa de Sitka, nous avons utilisé à titre exploratoire les paramètres d'épicéa commun (chantier de Chatillon) et pour pin d'Alep, les paramètres de pin sylvestre (chantier de Taradeau). Pour frêne, noisetier et tilleul, nous n'avons pas de paramètres. Nous avons calculé les minéralomasses pour le peuplement plein initial et ensuite déduit la part de minéralomasse exportée au prorata des biomasses prélevées (l'équation allométrique ne doit pas être utilisée directement sur la biomasse prélevée mais bien sur la biomasse initiale du peuplement plein, car la relation n'est pas linéaire et le calcul ne serait pas équivalent).

Pour les 14 chantiers, issus de l'observatoire (cf. paragraphe 2.2.2), pour lesquels les paramètres étaient disponibles, nous avons calculé les minéralomasses totales des peuplements et quantités exportées par les coupes, respectivement pour tout le bois (tige et branches) et pour le bois et les feuilles à partir des équations de Résobio décrites précédemment. A noter que sauf pour Compiègne (hêtre), Courcy (chêne) et Ecquevilly (châtaignier) pour lesquels l'essence principale représente au moins 75-80 % de la surface terrière, pour les autres chantiers, l'essence principale représente souvent autour de 50 %, voire moins de la surface terrière. Nous avons choisi de faire le calcul malgré tout en appliquant l'équation de l'essence majoritaire à la biomasse totale. Ces calculs sont comparés aux calculs précédents de la chaîne de calcul Gerboise, qui tient compte des différentes essences par arbre.



A noter que les équations de Resobio sont utilisées deux fois au-delà des valeurs maximales de biomasse retenues pour l'ajustement pour le châtaignier (Ecquevilly et St-Pierre de Cole), tandis qu'elles sont en limite inférieure des valeurs minimales pour le hêtre (Compiègne).



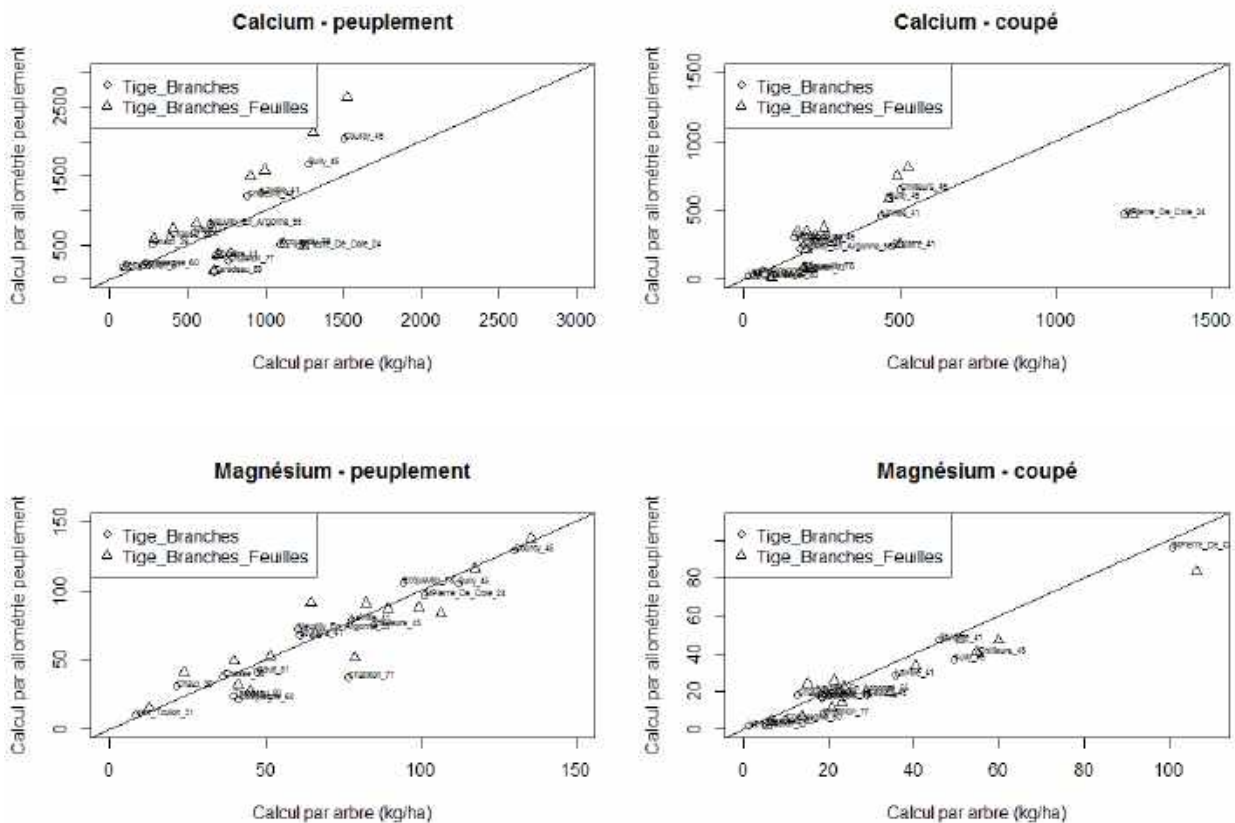


Figure 22. Comparaison des quantités de minéralomasse des peuplements avant exploitation et des arbres exploités, avec les deux méthodes de calcul : en abscisse avec la chaîne de calcul par arbre et en ordonnées avec les allométries publiées dans le projet Resobio (Achat et al., 2016). La première bissectrice est représentée.

Pour les 5 éléments, les ordres de grandeur concernant l'export sans feuillage sont assez bien respectés, à part pour Ecquevilly et St-Pierre de Cole pour lesquels les valeurs issues de l'allométrie sont beaucoup plus faibles qu'attendues par les calculs plus complets (dans une moindre mesure pour Mg), mais les biomasses sont du double de celles utilisées pour l'ajustement, donc ces points sont en extrapolation. Concernant les valeurs d'export avec le feuillage, les tendances ne sont pas comparables entre les deux calculs selon les éléments : pour le calcium, l'export de feuillage est très pénalisant quand on utilise le calcul par allométrie par rapport au calcul par arbre, tandis que c'est l'inverse pour l'azote, le potassium et dans une moindre mesure le phosphore. Les estimations de biomasse et minéralomasses dans le feuillage de notre chaîne de calcul sont à améliorer avant d'approfondir la comparaison entre les deux méthodes de calcul pour ce compartiment.

L'utilisation de l'allométrie sur des peuplements non purs ne semble pas induire d'écart particulier.

Au-delà de ces quelques différences, le calcul allométrique pour les essences pour lesquelles les équations ont été ajustées et à condition de bien respecter les limites de biomasses utilisées pour les ajustements, paraissent donc **un moyen efficace et bien plus simple d'estimer les exportations**, a minima hors feuilles : il ne nécessite que la **biomasse totale des tiges** exportées en entrées et l'information d'essence principale, deux informations assez simples d'accès à partir des volumes bois-forêts tige.

3.2. Outils de bilans de flux

A la suite des estimations d'exportation par chantier, un test était proposé sur les outils de calculs de bilan disponibles actuellement. Deux outils avaient été identifiés : REGESOL (INRA-BEF, Arnaud Legout, RFF 2014) et FORGECO (FCBA, Emmanuel Cacot, RFF 2014).

3.2.1. REGESOL (INRA-BEF, Arnaud Legout, RFF 2014)

3.2.1.1. Présentation de l'outil

REGESOL est un outil pour un usage expert, pour évaluer des besoins de correction de la fertilité des sols forestiers par amendements minéraux basiques à l'échelle de peuplements forestiers d'essences variées (Epicéa, Pin, Douglas, Chêne, Hêtre ...), avec un domaine de validité couvrant les sols acides à très acides. Il peut ne pas être adapté aux bilans, notamment pour N et P sur des sols calcaires. Fin 2017, l'INRA a expertisé près de 85 000 ha de peuplements, pour une large part situés dans le quart nord-est de la France (Vosges, Alsace et Ardennes) (comm. pers. C Nys).

L'outil part du niveau de stock initial d'éléments minéraux dans le sol (sur la base d'analyses de sol réalisées sur la couche 0-15 cm) et les humus, et fait un bilan des entrées-sorties des nutriments sur un pas de temps paramétrable (généralement 25 ans), en tenant compte des peuplements en place (essences, stades, sylviculture), des récoltes et retours éventuels de rémanents, du drainage, des dépôts atmosphériques et des apports par altération. Le calcul du besoin en amendement se fait ensuite en référence aux normes de nutrition de Bonneau, améliorées par Claude Nys et adaptées selon l'essence (niveau de stock idéal) – voir schéma ci-dessous.

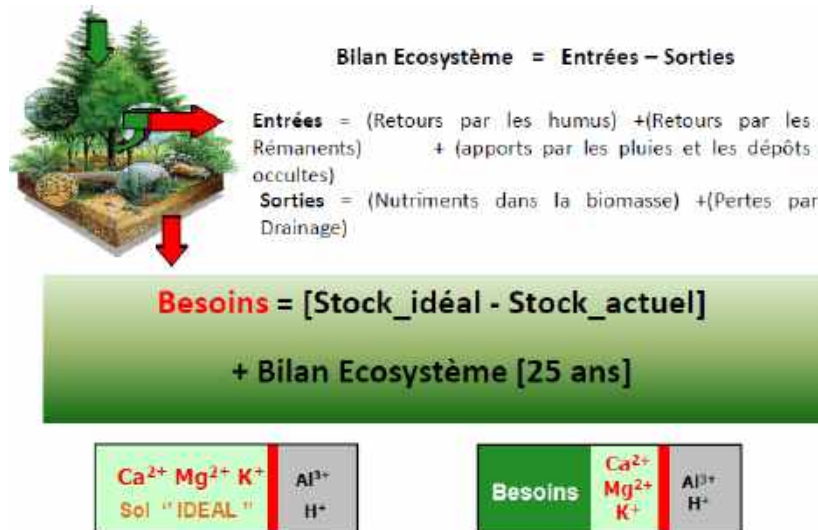


Figure 23. Schéma du calcul des besoins en amendement/fertilisation – C.Nys, S.Didier, A Legout, INRA 2016.

Les éléments analysés sont Ca, Mg, P et K, mais N peut aussi être évalué.

Il n'y a pas de difficulté à utiliser l'outil à l'échelle d'une parcelle ou d'un chantier, en revanche il n'a pas été évalué sur une période plus longue que quelques décennies, comme une révolution complète. Laurent Saint-André évoque en particulier les effets des rétroactions encore peu connues des exportations d'arbres entiers sur la croissance à long terme. En effet, il est possible d'imaginer une



boucle de rétroaction par un appauvrissement des sols, mais cette hypothèse va bien au-delà des calculs possibles dans ce bilan.

Pour les itinéraires sylvicoles et les choix de récolte, 3 scénarios possibles sont proposés :

- Remédiation sol avec sylviculture conservative = G prélevé à chaque coupe de 25 %, sans export de menus-bois
- Remédiation sol avec sylviculture dynamique = G prélevé de 50 %, sans export de menus-bois
- Sylviculture Bois Energie = G prélevé de 50 %, avec récolte en arbre entier à chaque éclaircie.

Les exportations de feuillage ne sont pas envisagées dans les scénarios.

3.2.1.2. Test de l’outil sur un site du réseau INRA MOS

Pour réaliser un lien avec le projet de l’ADEME Respire (2014-2018), qui étudie l’effet de prélèvements accrus de biomasse sur les sols et la faisabilité de remédiation par des apports de cendres de bois, il a été décidé de faire tourner REGESOL sur l’un des sites du réseau expérimental MOS (Matières Organiques des Sols), constitué de peuplements de chêne, hêtre ou douglas aux stades de la 1^{ère} (ou 2^{ème}) éclaircie.

Dans le cadre du projet Respire, pour chaque dispositif MOS, des simulations très complètes d’exports de minéralomasse ont été réalisées, en utilisant les inventaires dendrométriques initiaux, en appliquant ensuite à chaque peuplement un scénario proche du guide de sylviculture en vigueur localement, donc a priori au plus proche de l’évolution attendue de ce peuplement et en simulant la croissance de chaque arbre avec la plateforme de simulation CAPSIS (Lauvin, 2018). La même chaîne de calcul biomasse et minéralomasse développée dans Gerboise, a ensuite été appliquée pour estimer toutes les données peuplement en place et éclairci, et les exportations en éléments minéraux, à chaque date d’intervention, jusqu’à la coupe finale. Respire fournit donc des résultats de simulation d’exports de minéralomasse sur une révolution complète et pour 3 scénarios de prélèvements (1. Pas de récolte de menus-bois ; 2. MB Partiel = Récolte partielle de menus- bois uniquement à la première éclaircie et coupe finale ; 3. Tous MB = Récolte de tous les menus-bois à chaque éclaircie). Les calculs RESPIRE n’appliquent pas d’hypothèses de réfraction des exports liée au bois mort frais restant fatalement sur coupe après exploitation. Ces résultats peuvent être discutés par rapport à ceux des simulations issues de REGESOL (approche bilan complet, sur 25 ans).

Application au site MOS en Hêtre de Ban d’Harol (88) (simulation réalisée par BEF)

Le suivi assez fin du site MOS permet d’apporter les informations pédologiques nécessaires à l’outil REGESOL. Les dépôts atmosphériques (N, K, Mg, Ca) ont été estimés à partir des données d’une placette RENECOFOR située à proximité (SP57). Les données sol sont issues des descriptions de fosses pédologiques faites à l’installation du dispositif. Les données peuplements correspondent aux inventaires dendrométriques initiaux du site MOS. REGESOL considère également les pertes par drainage et les apports par altération (extrapolation à partir de données BEF) (cf. tableaux suivants).



Tableau 7. Sorties du logiciel Regesol pour les données du site de Ban d'Harol de hêtre du réseau MOS.

		Stocks initiaux	
N kg/ha		3 126	
C kg/ha		51 768	
K ₂ O kg/ha		346	
P ₂ O ₅ kg/ha		374	
MgO kg/ha		138	
CaO kg/ha		256	

Site	MOS
Forêt	FD Ban d'Harol
An_Foret	1985
Âge peupl	35
Essence	HET100
Temps de calcul	25ans
Secteur	HAROLD35
Superficie m ²	183 000
RU	90

Une fois les initialisations effectuées, un calcul est fait sur 25 ans de la vie de ce peuplement, avec une comparaison des besoins d'amendement en remédiation (= sylviculture conservative mais regonflage en éléments minéraux du sol si carencé) ; des besoins avec en plus l'hypothèse d'une sylviculture dynamique ; ou enfin avec l'hypothèse d'une récolte supplémentaire de menus-bois (Bois-Energie) :

Tableau 8. Sorties du logiciel Regesol pour les données du site de Ban d'Harol de hêtre du réseau MOS.

	Remédiation	Dynamique	BoisEnergie
Besoins_K ₂ O kg/ha	0	71	200
Besoins_P ₂ O ₅ kg/ha	0	78	175
Besoins_MgO kg/ha	149	230	301
Besoins_CaO kg/ha	369	542	688
Dolomie kg/ha	785	1 211	1 583
Phosphate kg/ha	0	275	357
Sulfate de K kg/ha	0	142	200
CaCO ₃ kg/ha	222	92	86
Formule proposée	Phosphore : 0.0 Potasse : 0.0 Magnésie : 14.8 EB : 13.2	Phosphore : 4.5 Potasse : 4.1 Magnésie : 13.4 EB : 7.5	Phosphore : 4.5 Potasse : 4.5 Magnésie : 13.5 EB : 6.6

La clé de sensibilité des sols INSENSE classe ce site en sensibilité rouge (forte) pour Ca, Mg et K.

En parallèle, le projet RESPIRE pour le site de Ban d'Harol permet de donner des ordres de grandeurs d'exportation selon les scénarios. En particulier, la première éclaircie à elle-seule ne représente qu'un peu plus de 5 % de la biomasse totale exploitée dans toute la vie du peuplement (dont plus de la moitié correspond à du menus-bois) mais 6 à 10 % des exports de minéralomasse (Tableau 9).

Tableau 9. Ratio exportation de biomasse et minéralomasse exportées à la 1^{ère} éclaircie par rapport aux exportations totales au cours d'une révolution complète (simulation Respire Ban d'Harol)

ratio 1E/révolution	Biomasse	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium
Biomasse totale	5,3 %	8,7 %	9,2 %	9,1 %	9,8 %	5,7 %



Menus-bois seuls	2,8 %	5,7 %	6,2 %	6,0 %	6,6 %	3,1 %
------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

On ne considère ci-dessous que l'export supplémentaire dû à des récoltes de menus bois, par rapport à la récolte traditionnelle bois-fort (cf. plus haut, scénarios 2 et 3) et en prenant en particulier en compte les 4 premières éclaircies simulées (respectivement à 35, 41, 47 et 54 ans) pour comparer avec les simulations Regesol (entre 35 et 60 ans).

Le Tableau 10 compile les résultats des besoins en éléments minéraux (formes élémentaires K, P, Ca, Mg) selon les approches REGESOL (approche bilan complet, pour 3 scénarios, sur 25 ans) et Respire (compensation des exports supplémentaires dû aux récoltes de menus-bois, 2 scénarios, 4 éclaircies et révolution complète).

Tableau 10. Comparaison des calculs de besoins de remédiation issus du logiciel Regesol par rapport au calcul des exportations de menus-bois sur le dispositif de Ban d'Harol.

Simulation	Durée	Sylviculture	Besoins_K	Besoins_P	Besoins_Mg	Besoins_Ca
			kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
regesol	25 ans	Remédiation	0	0	90	264
Regesol	25 ans	Dynamique	59	34	139	388
Regesol	25 ans	Bois Energie	166	76	181	491
Respire	4 éclaircies	MB partiel	22	5	6	47
Respire	4 éclaircies	Tous MB	63	13	17	129
Respire	révolution	MB partiel	60	13	16	121
Respire	révolution	Tous MB	146	31	39	294

Sur le pas de temps réduit de 25 ans, les résultats de ces simulations, basées sur des démarches très différentes, semblent surtout indiquer que les seuls besoins liés aux exports d'une récolte des menus-bois à la première éclaircie sont bien inférieurs aux besoins estimés par l'approche bilan de REGESOL pour Ca et Mg (scénario Remédiation). L'observation est la même si on rapproche les calculs pour le scénario Respire Tous MB et les 2 scénarios REGESOL Dynamique et Bois Energie, y compris pour P et K. **Sur ces sols sensibles, le besoin déjà affiché de remédiation est très important, et ne ressort pas du tout avec des approches uniquement réfléchies en termes de compensation.**

Sur Ban-d-Harol, où la sensibilité Insensé est notée forte, et pour K, REGESOL ne conseille pas de remédiation, ce qui demande à être creusé. Notons que REGESOL comporte des incertitudes non négligeables au niveau d'un bilan, en particulier sur les apports par altération et par dépôts atmosphériques (Legout, 2014), estimés ici par une placette RENECOFOR résineuse (phénomène de récréation différent entre feuillus et conifères).

Les différences importantes entre les résultats incitent à approfondir avec l'unité BEF certaines hypothèses de calcul de l'outil REGESOL (notamment exports dans les biomasses en lien avec les récoltes simulées) et mieux appréhender la cascade d'incertitudes sur les différents termes des bilans d'éléments minéraux et calculs de besoins d'amendement.



3.2.2. FORGECO (FCBA, Emmanuel Cacot, RFF 2014)

3.2.2.3. Présentation de l'outil

L'outil FORGECO a été développé dans le cadre du projet ANR du même nom et visait un diagnostic global et simplifié à l'échelle du peuplement (pour chênes, hêtre, épicéa, pins, sapin) des flux d'éléments minéraux entrants et sortants, intégrant les récoltes de bois sur une révolution complète (données d'entrées : date des éclaircies et intensité). FORGECO n'est donc pas adapté pour la réalisation de bilan d'exports de minéralomasse à l'échelle temporelle d'un chantier. Il se présente sous la forme d'un tableur excel avec des macros de calculs développés avec VBA (Excel 2007). (Figure 24)



Figure 24. Feuille d'interface de l'outil FORGECO – données du site MOS Ban d'Harol

L'approche sur la vie du peuplement correspond au besoin d'outil d'aide pour le gestionnaire, pour simuler avec une approche régionalisée des sylvicoles et options de récolte de menus-bois contrastées (intérêt du classement relatif des scénarios entre eux).

On est bien dans le cadre de la révision du guide ADEME avec une volonté de régionaliser les préconisations, avec deux zones d'étude implémentées par défaut dans la version de l'outil mis à disposition par FCBA pour le test : Orléanais et Vercors. Il n'y a aucune idée derrière de compensation et estimation de fertilisation.

Cinq éléments sont abordés : N, P, K Ca et Mg.

3.2.2.4. Test de l'outil

Tous les calculs Respire présentés précédemment étaient disponibles pour alimenter l'outil FORGECO, cette fois sur une révolution complète. Les informations de drainage et de dépôts utilisées pour les calculs REGESOL ont été rassemblées. Malheureusement l'outil développé avec VBA sur Excel n'a pas

pu être utilisé. Les macros sont désormais totalement incompatibles avec Windows, tandis que des essais ont été tentés sur de vieux PC sous XP et avec de vieilles versions d'Excel mais avec des bugs systématiques.

3.3. Bilan

La comparaison des outils de bilan de flux n'a pas vraiment été probante, mais ce premier contact avec ces outils montre l'importance de prendre un point de vue un peu différent pour raisonner les exports, et en premier lieu, par rapport au diagnostic Insensé, de se poser avant tout la question de **la restauration de la fertilité des sols**, plus que de la compensation d'exportation de menus-bois, comme cela est proposé dans REGESOL. Les tests pourraient utilement être approfondis, par exemple sur les autres sites MOS, en envisageant d'enrichir maintenant l'outil REGESOL avec tous les calculs mis en place dans les projets Gerboise et Respire, et en lien avec les modèles de croissance, qui apportent une bien plus grande flexibilité en termes de types de peuplements, d'essences, de modalités de récolte. La chaîne de calcul très générique mise en place ici permettrait en retour de rendre l'outil REGESOL plus robuste et d'y associer une réelle dynamique de croissance donnée par les modèles. Les approches bilan sur la révolution complète sont aussi intéressantes à creuser, pour l'évaluation régionalisée du niveau d'impact d'itinéraires sylvicoles et de choix de récolte sur la fertilité des sols.



4. Conclusions, perspectives

Bien que le protocole pour le suivi des chantiers de récolte de bois énergie doive être encore modifié pour mieux appréhender les pertes d'exploitation forestière (bois mort frais au sol après exploitation), ce protocole, la base de données associée et le script R pour l'automatisation du traitement des données sont maintenant bien rodés et à disposition des partenaires du projet Gerboise. Ils serviront ultérieurement dans d'autres projets afin de compiler des informations sur un panel de chantiers et de peuplements, dans des conditions pédologiques variées afin d'apporter des éléments quantitatifs plus représentatifs sur la fertilité des sols et la diversité des chantiers bois énergie. Les recommandations sur les quantités de biomasse et minéralomasse exportables et à laisser sur place (cf. volet 1 de Gerboise) pourront ainsi être affinées ultérieurement.

A partir des premiers résultats obtenus sur les 18 chantiers, dont les données sont complètes, il a été possible d'apporter d'ores et déjà des éléments pour éclairer les recommandations du volet 1 :

- Bien que le protocole ait été largement revu au cours du projet pour estimer le bois frais laissé au sol, les fourchettes apportées par le projet sur des chantiers assez variés mais représentatifs des récoltes actuelles de bois énergie, montrent une très forte variabilité. **Le seuil de 10 % est relativement respecté pour les attentes des menus bois minimum à laisser** pour la biodiversité sur des sols sans sensibilité à l'exportation. Les fourchettes plus fortes sont maintenant à mieux comprendre pour détecter des conditions d'exploitation favorables à des pertes plus fortes de bois frais sur la parcelle.
- Les calculs plus complets d'exportation montrent des exportations globalement plus importantes, à gain de biomasse équivalent **lorsque les arbres sont petits** (seuils de Resobio à 20 cm retrouvé pour feuillus).
- Bien qu'il existe des incertitudes sur la quantification du **feuillage** exporté (un protocole spécifique devra être rédigé pour répondre à cette question car celui défini dans Gerboise n'est pas conçu pour cela), une majorité des chantiers suivis ont été réalisés en feuilles et avec un délai de ressuyage, entre abattage et débardage, inférieur aux 3 mois préconisés dans le volet 1 de Gerboise. Même si ce délai n'est qu'une préconisation (la durée importe moins que la chute effective du feuillage au sol pour un retour des éléments minéraux), il est fort probable qu'une bonne partie du feuillage ait été exportée lors de ces opérations de récolte. Parmi les recommandations de récolte, celle de laisser absolument le feuillage en forêt devra être largement mise en avant. Par ailleurs, le fait de laisser un temps suffisamment long de ressuyage contribuera à sécher les menus bois, à les fragiliser et donc à en laisser plus sur la parcelle lors du débardage.

L'observatoire de Gerboise a intégré des chantiers de récolte du bois énergie tels que pratiqués actuellement. Il conviendra par la suite de tester différentes modalités afin de laisser plus d'éléments minéraux sur les parcelles et répondre aux recommandations du volet 1 : laisser ressuyer plus longtemps la biomasse sur parcelle avant son débardage, ne récolter qu'une partie des houppiers, laisser une partie des menus bois en donnant des coups de cisailles dans les houppiers abattus... Ces tests, prévus dans le cadre du projet Tamobiom qui démarre début 2019, permettront d'évaluer leur faisabilité technico-économique et les gains potentiels (diminution des exportations minérales, amélioration de la qualité des plaquettes produites).



Bibliographie

- Achat, D. L., C. Deleuze, G. Landmann, N. Pousse, J. Ranger, et L. Augusto. 2015.** Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 348 (juillet 2015): 124 -41. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042>.
- Bonneau, M. 1995.** Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Editeur : ENGREF, Nancy. Imprimeur : ENGREF, Nancy. Imprimeur : Bialec s.a., Nancy, 367 p.
- Bonnemazou M., Cacot E., Morillon V., 2017.** Gerboise. Observatoire national de la récolte de bois-énergie destiné à la production de plaquettes forestières Données 2015. FCBA INFO, 6 p.
- Bouvet A. Deleuze C., 2013.** Taux d'écorce pour les principales essences forestières françaises. *Rendez-Vous-Techniques de l'ONF, n°39-40, p60-67.*
- Cacot E, Mazon R., Bigot de Morogues F. 2014.** Outil d'aide à la décision pour la gestion durable de la fertilité des sols forestiers: Forgeco-Tools, *Revue Forestière Française.*
- Deleuze, C ; Morneau, F ; Renaud, J-P ; Vivien Y. ; Rivoire, M ; Santenoise, P ; Longuetaud, F ; Mothe, F ; Hervé, J-C ; Vallet, P. 2014.** Estimer le volume total d'un arbre quelles que soient l'essence, la taille, la sylviculture, la station. *Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 44 , pp.22 - 32*
- Deleuze, C ; Morneau, F ; Renaud, J-P ; Vivien, Y ; Rivoire, M ; Santenoise, P ; Longuetaud, F ; Mothe, F ; Hervé, J-C. 2014** Estimation harmonisée du volume de tige à différentes découpes. *Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 44 , pp. 33 - 42*
- Genet, A., H. Wernsdörfer, M. Jonard, H. Pretzsch, M. Rauch, Q. Ponette, C. Nys, et al. 2012.** Ontogeny partly explains the apparent heterogeneity of published biomass equations for *Fagus sylvatica* in central Europe. *Forest Ecology and Management* 261, n° 7 (avril 2011): 1188 -1202. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.034>.
- Legout A., Didier S., Nys C. 2014.** REGESOL: un outil de diagnostic pour les opérations d'amendement des sols forestiers, *Revue Forestière Française.*
- Longuetaud F., Rivoire M., Santenoise P., Mothe F., Caraglio Y., Deleuze C., 2014.** Mesures de volume, biomasse, minéralomasse : peut-on généraliser par affinités architecturales et anatomiques - *Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 44 , pp. 18 – 21.*
- Peaucelle M.. 2011.** Time trends in forest litterfall production and relationships with environmental changes: An exploratory approach on data collected from 1995 to 2007 in the RENECOFOR monitoring network. *Rapport de stage de césure, ENS sept 2010-janvier 2011. Fontainebleau, 2011.*
- Ranger J., Ponette Q., 2000.** « Biomasses et minéralomasses aériennes de cinq peuplements de Douglas du réseau Rénécofor : quantification et implications sylvicoles ». *Revue Forestière Française, 2000, 115 -34.*
- Raveloson C., 2018.** Impact de l'exploitation du bois énergie sur la fertilité des sols forestiers. *Rapport de stage M2 FAGE, Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement, Spécialité Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes. 25 pages + annexes.*
- Saint-André L., Munoz A., Bock J., Renaud J.P., Jolly A., Deleuze C., Monnet J.M., Mermin E., Bouvier M., Durrieu S., 2013.** Modèles allométriques utilisés pour estimer les volumes des arbres. *Tâche 3, livrable 35, projet ANR-10-BIOE-008 FORESEE. 11p, rapport interne au consortium.*
- Saint-André, L ; Genet, A ; Legout, A ; Ranger, J ; Wernsdörfer, H ; Jonard, M ; Ponette, Q ; Hounzandji, P-I ; Deleuze, C. 2014.** Modèles de biomasse et de minéralomasse : quelles avancées de la recherche ? Pour quels usages à terme en gestion ? - *Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 44 , pp. 43 - 56*



Wernsdörfer H., Jonard M. Genet A., Legout A., Nys C., Saint-André L., Ponette Q., 2014. Modelling of Nutrient Concentrations in Roundwood Based on Diameter and Tissue Proportion: Evidence for an Additional Site-Age Effect in the Case of *Fagus Sylvatica*. *Forest Ecology and Management* 330 (octobre 2014): 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.006>.



Annexes

Annexe 1. Enquête nationale sur les modalités de récolte du Bois Energie : formulaire d'enquête

Enquête Bois Energie dans le cadre du projet Gerboise

Informations générales

Coordonnées de l'entreprise :

Entreprise :	
Nom :	Prénom :
Poste :	
Adresse :	
Mail :	
Téléphone :	Portable :

Tonnage de Bois Energie destiné à la production de plaquettes forestières récolté en 2015 :

Tonnes	Taux d'humidité moyen

Zones géographiques de récolte en 2015 :

Région	Tonnage	Région	Tonnage
Alsace		Limousin	
Aquitaine		Lorraine	
Auvergne		Midi-Pyrénées	
Bourgogne		Nord-Pas-de-Calais	
Bretagne		Basse-Normandie	
Centre		Haute-Normandie	
Champagne-Ardenne		Pays-de-la-Loire	
Corse		Picardie	
Franche-Comté		Poitou-Charentes	
Ile-de-France		PACA	
Languedoc-Roussillon		Rhône-Alpes	
TOTAL			0

FCBA

Annexe 2. Observatoire national de la récolte de bois énergie (données 2015) Publication FCBA INFO.



GERBOISE OBSERVATOIRE NATIONAL DE LA RECOLTE DE BOIS ENERGIE DESTINE A LA PRODUCTION DE PLAQUETTES FORESTIERES DONNEES 2015



Une enquête nationale menée auprès de 62 entreprises montre la grande variété de modalités de récolte de bois pour la production de plaquettes et l'importance des récoltes d'arbres entiers.

La stratégie française de transition énergétique prévoit de substituer une partie des sources d'énergie fossile par l'utilisation accrue de ressources renouvelables. Pour limiter la concurrence avec d'autres usages, la filière bois énergie sera amenée à mobiliser des gisements de bois jusqu'alors laissés en forêt : les résidus forestiers (menus bois, souches, petites tiges, arbres mal conformés, purges...). Toutefois, la récolte de ces compartiments supplémentaires doit se faire dans des conditions qui assurent la durabilité de la gestion forestière.

Ainsi le projet GERBOISE (GEstion raisonnée de la Récolte de BOIS Energie) vise à mettre à disposition des opérateurs de terrain des recommandations et conseils concernant les pratiques de récolte de compartiments supplémentaires, menus bois notamment. Ces recommandations concerneront à la fois la fertilité et la biodiversité. Elles constitueront une actualisation et un élargissement du guide « La récolte raisonnée des résidus en forêt » édité par l'ADEME¹ en 2006. Elles doivent bien sûr être adaptées aux pratiques de récolte destinées à la production de plaquettes forestières (pour le Bois Energie), qui ont fortement évolué ces dernières années. Pour améliorer les connaissances sur ces pratiques de récolte et adapter les recommandations, un observatoire a été mis en place comportant deux parties : d'une part une enquête menée par FCBA auprès des professionnels mobilisateurs de bois énergie en France sur les bois récoltés en 2015, d'autre part un monitoring de chantiers pour analyser finement les exportations minérales et autres impacts potentiels fonction des modalités de récolte. Cette synthèse présente les résultats de la première enquête.

Méthodologie constitutive de l'enquête

Sur la base du guide « L'approvisionnement en plaquettes forestières » (2014 - ADEME - R. Grovel et al.), une nomenclature actualisée définissant les modalités de récolte et les types de coupe fournissant du bois énergie, a été réalisée. Cette nomenclature a servi de base à l'élaboration de l'enquête nationale dont les résultats sont présentés ici.

Cette enquête a été envoyée sous la forme d'un tableau à des entreprises ciblées. La première partie de cette enquête comprenait les informations générales de l'entreprise et de sa récolte annuelle de bois destiné à la production de plaquettes forestières. La seconde partie visait à préciser les modalités de récolte en fonction de plusieurs critères :

- période de récolte,
- lieu de séchage/ressuyage si réalisé,
- lieu de déchiquetage,
- répartition des tonnages récoltés par type de peuplement, de coupe et de biomasse

Les entreprises consultées, au nombre de 62, ont été les partenaires du projet GERBOISE, à savoir UCFF (regroupant la majorité des coopératives forestières françaises, leader sur le marché de la plaquette forestière²) et ONFE, les grandes entreprises et industries forestières, et des entreprises identifiées comme spécialisées dans la récolte de bois énergie. Le taux de retour des réponses fut de 45%.

Les réponses ont été compilées et cumulées au prorata des tonnages annoncés par chaque entreprise afin d'obtenir des résultats les plus fiables possibles au niveau national.

¹ Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

² Communiqué de presse de l'UCFF du 4 octobre 2016

Résultats généraux de l'enquête

Le tonnage total obtenu pour l'enquête est de près de 1,5 millions de tonnes. En comparant ce résultat aux 2,9 millions de m³ à destination de la fabrication de plaquettes forestières en 2015 (donnée de l'enquête annuelle de branche, réalisé par l'AGRESTE³), l'enquête concerne donc près de 50% de la récolte de bois énergie destiné à la plaquette forestière. Les pratiques décrites par l'analyse des résultats sont donc représentatives des pratiques générales en France, à l'exception cependant des récoltes de souches pour lesquelles les réponses ont été peu nombreuses alors qu'elles représentent de l'ordre de 250 000 tonnes en Aquitaine⁴ (pour 25 000 tonnes déclarées dans l'enquête).

Modalités de récolte de la biomasse destinée à la production de plaquettes forestières

Saison de récolte

Pour les feuillus, 99% de la récolte réalisée par les entreprises de l'observatoire l'est indifféremment en feuilles ou hors feuilles. Le choix de la récolte ne porte pas sur ce critère ni sur la saison.

Humidité des plaquettes et lieu de séchage

Le taux d'humidité moyen des plaquettes forestières livrées dans les chaufferies se situe autour de 30% dans l'observatoire.

Les entreprises interrogées répondent qu'un séchage/ressuyage est très fréquemment - à près de 90 % - réalisé sur coupe pour les feuillus comme pour les résineux. Un complément de séchage/ressuyage est également souvent pratiqué bord de route. L'information sur la durée de ces séchages/ressuyages n'a pas été demandée.

Lieu de déchetage des bois récoltés pour la production de plaquettes forestières

Le déchetage sur coupe (Photos 1) est peu pratiqué (7% des cas) car il nécessite du matériel mobile sur parcelles forestières.

Le déchetage bord de route (Photos 2) est le plus pratiqué (78% des cas) et nécessite du matériel transportable (déplacements entre chantiers).

Les plus gros matériels de broyage sont plutôt utilisés sur plateforme sur lesquelles la production de plaquettes reste modérée (15% des cas).

Au final, si la récolte d'arbres destinés à la production de plaquettes forestières est réalisée indifféremment en feuilles que hors feuilles, le séchage/ressuyage est très fréquent sur coupe. Au vu des informations collectées, il est toutefois difficile de préciser quelle proportion du feuillage reste sur la parcelle après le premier séchage/ressuyage et quelle proportion est exportée. Même si les préoccupations techniques sur la qualité des plaquettes produites (taux limités d'humidité et de cendres) rejoignent ici celles concernant l'environnement (laisser ressuyer les arbres sur parcelle et limiter les pertes de matières minérales

³ Publications du Service de la statistique et de la prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, service public de statistiques ministérielles

⁴ Mémento aquitain du bois énergie (2013). Synthèse n° 10 : Techniques



Photos 1 : Déchetage d'arbres entiers sur coupe

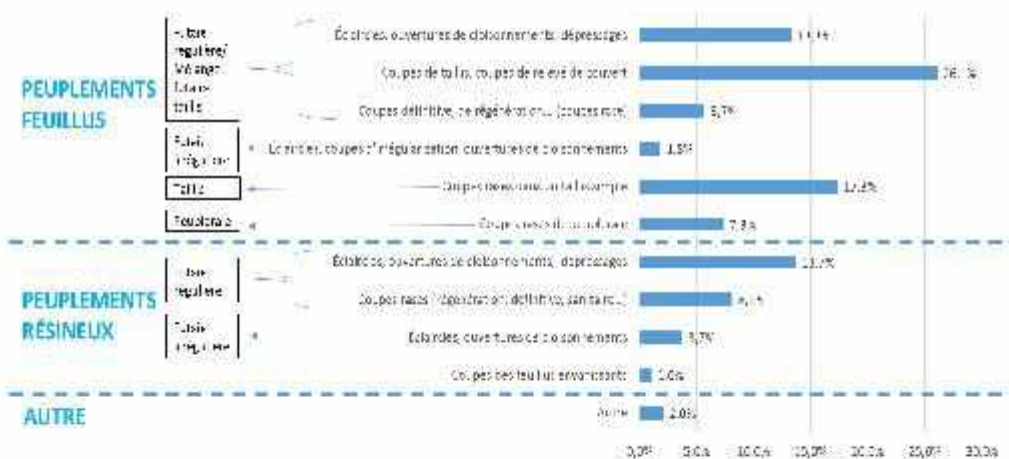
contenues dans les feuilles), il n'est pas possible à partir des données de cette enquête de connaître les exportations minérales liées à cette biomasse très concentrée en éléments minéraux.

de mobilisation du bois énergie en Aquitaine



Photos 2 : Déchiquetage d'arbres entiers bord de parcelle

Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type de peuplement et de coupe

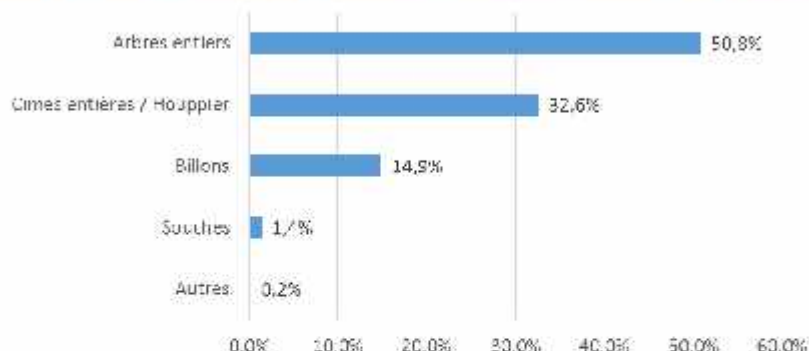


Graphique 1 : Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type de peuplement et de coupe

Une très grande diversité des modes de récolte est constatée. Cela est notamment dû à des pratiques variées suivant les régions, les peuplements et les types de coupes.

Dans l'enquête, les bois récoltés pour la production de plaquettes forestières sont pour 71% des feuillus (soit nettement plus que la proportion de feuillus récoltés tous usages confondus), pour 27% des résineux auxquels s'ajoutent 2% d'indéterminées.

Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type de biomasse

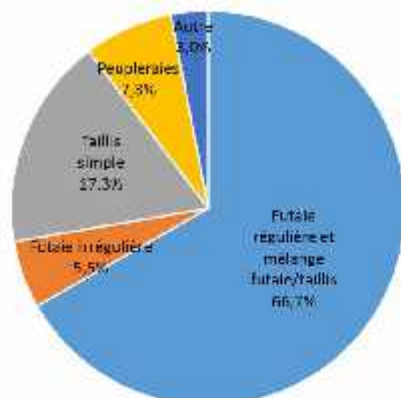


Graphique 2 : Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type de biomasse

NB : Les données concernant les récoltes de souches sont a priori sous-estimées car toutes les informations n'ont pu être récupérées.

Arbres entiers ainsi que cimes entières/houppiers représentent plus de 83% de la biomasse récoltée pour la production de plaquettes forestières. Dans le premier cas, l'ensemble de l'arbre est récolté puis broyé pour produire de la plaquette forestière. Dans le second cas, les troncs sont façonnés en billons ou grumes, majoritairement pour du bois d'œuvre, et les houppiers (ou cimes pour les résineux) sont broyés en plaquette forestière. Au final, dans les deux modalités, l'arbre entier est récolté, à destination tout ou partie de la plaquette forestière pour du Bois Energie. Il s'agit des mêmes compartiments de biomasse exploités et donc d'éléments minéraux exportés lors de l'exploitation des arbres notamment pour les feuillus.

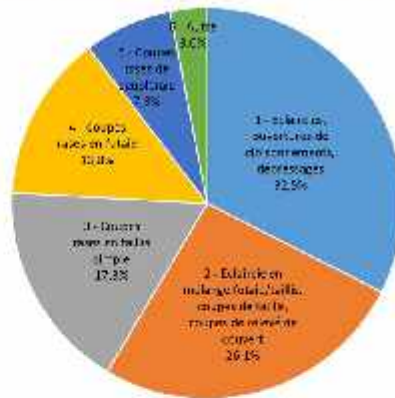
Répartition de la récolte par type de peuplement



Graphique 3 : Répartition de la récolte par type de peuplement

« Futaie régulière et mélange futaie/taillis » représentent les peuplements dans lesquels sont récoltés le plus de bois pour la production de plaquettes forestières.

Répartition de la récolte par type de coupe



Graphique 4 : Répartition de la récolte par type de coupe

Près de 59% de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières est effectuée dans des coupes d'éclaircies (1+2), dont près de 33% proviennent d'éclaircies, d'ouvertures de cloisonnement ou de dépressages d'arbres de franc pied, aussi bien feuillus que résineux (1).

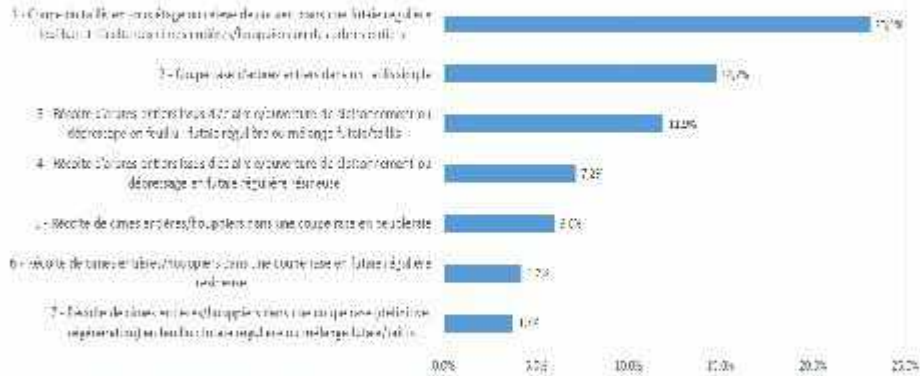
38% s'effectue dans des coupes rases (3+4+5) et 3% dans d'autres types de coupe ou récolte (6).

Plus de 43% des tiges proviennent de taillis (simple ou sous étage d'un mélange avec une futaie), en arbres entiers notamment (2+3).

Les coupes rases en futaie, y compris les coupes finales des derniers semenciers en futaie régulière, représentent quant à elles plus de 21% de la récolte, peupleraies incluses (4+5).

Principales modalités de récolte

L'analyse des données présentées précédemment a permis la réalisation de regroupements (Graphique 5) constituant les sept modalités les plus fréquemment rencontrées pour l'exploitation des arbres destinées à la production de plaquettes forestières.



Graphique 5 : Modalités de récolte les plus fréquentes pour la production de plaquettes forestières

La modalité 1 regroupe la récolte d'arbres entiers et de cimes entières/houppiers étant donné la similitude de compartiments de biomasse exploités et donc d'éléments minéraux exportés.

Ce regroupement n'a cependant pas été réalisé pour :

- la modalité 4 car la récolte des cimes entières/houppiers en résineux signifie un ébranchage conséquent entraînant plus de retour de matière sur parcelle qu'une récolte en arbres entiers ;
- la modalité 5 car les peupleraies dans lesquelles les cimes entières/houppiers sont récoltés sont très différentes des autres peuplements dans lesquelles des arbres entiers sont récoltés (souvent en taillis).

Ces 7 modalités représentent 70,8% de la récolte, avec 49,8% pour les 3 premières.

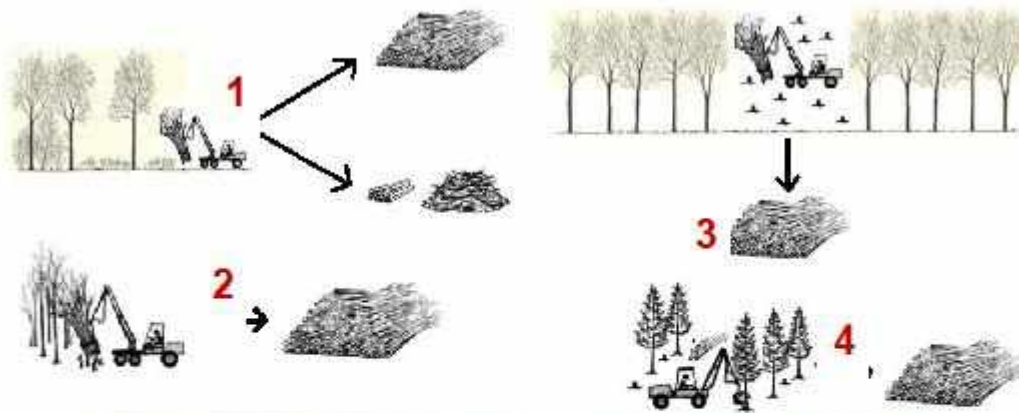


Figure 2 : Schéma des 4 modalités les plus représentées (numérotation correspondante à celle du Graphique 5)

- 1- Coupe du taillis en sous étage ou relevé de couvert dans une futaie régulière feuillue et récolte des cimes entières/houppiers ou des arbres entiers
- 2- Coupe rase d'arbres entiers dans un taillis simple
- 3- Récolte d'arbres entiers issus d'éclaircie/ouverture de cloisonnement ou dépressage en feuillu : futaie régulière ou mélange futaie/taillis
- 4- Récolte d'arbres entiers issus d'éclaircie/ouverture de cloisonnement ou dépressage en futaie régulière résineuse

Résumé - Conclusion

C'est majoritairement dans les feuillus que le bois énergie à destination de la production de plaquettes forestières est récolté. Plus précisément ce sont surtout les arbres issus de taillis purs ou en sous-étage d'une futaie qui sont ainsi broyés.

Cette récolte est principalement réalisée en arbre entier ou en cimes entières/houppiers entiers (les troncs étant alors valorisés en grumes ou billons à destination principalement du bois d'œuvre). Dans le feuillu, ces deux modalités de récolte (arbres entiers ou troncs + cimes entières) correspondent au final à l'exportation des mêmes compartiments de matières minérales. Ces pratiques se sont développées fortement ces dernières années.

Ce sont donc dans ces types de peuplement (avec des coupes principalement d'éclaircie et avec ce type de biomasse) que seront réalisés le monitoring de chantiers prévus dans l'observatoire du projet GERBOISE (2^{ème} partie de l'observatoire, cf. introduction) qui permettront de mieux connaître l'exploitation du bois énergie et de déterminer plus finement les exportations de matières minérales qui en découlent, les impacts éventuels sur la biodiversité et, *in fine*, d'affiner les recommandations de récolte pour une meilleure prise en compte environnementale.



Contacts

Matthieu BONNEMAZOU • matthieu.bonnemazou@fcba.fr

Tél. 05 58 43 64 35

Emmanuel CACOT • emmanuel.cacot@fcba.fr

Tél. 05 55 48 48 11

Vincent MORILLON • vincent.morillon@fcba.fr

Tél. 05 55 48 00 33



Pôle 1^{ère} Transformation-Approvisionnement

Equipe Approvisionnement

10 rue Galilée, 77420 Champs-sur-Marne

Annexe 3. Protocole pour l'analyse détaillée de chantiers
d'exploitation de bois énergie



Gestion Raisonnée de la récolte de BOIS Energie

Volet 3

Analyse de chantiers réels d'exploitation de bois énergie

PROTOCOLE



Déroulé du protocole

1	<u>Avant exploitation</u>	63
1.1	<u>Mise en place des placettes</u>	63
1.2	<u>Bois mort</u>	65
1.3	<u>Peuplement</u>	66
1.4	<u>Sol</u>	67
2	<u>Juste après abattage</u>	72
2.1	<u>Bois vert</u>	72
2.2	<u>Peuplement</u>	73
3	<u>Juste après débardage</u>	74
3.1	<u>Bois bord de route</u>	74
3.2	<u>Bois mort</u>	75
3.3	<u>Cloisonnements</u>	76
3.4	<u>Impacts au sol</u>	77
4	<u>Mesures en laboratoire</u>	78
4.1	<u>Humidité des bois</u>	78
4.2	<u>Circonférence</u>	79
4.3	<u>Broyage</u>	80
4.4	<u>Nutriments</u>	81
4.5	<u>Sol</u>	82
5	<u>Listes de matériel (à cocher)</u>	83

Avant exploitation

Les informations générales sont à collecter avant de se rendre sur chantier. Elles permettent de caractériser le chantier, d'en faciliter l'accès et d'anticiper les mesures.

Dans le cas d'une ouverture de cloisonnement pur, on peut s'affranchir de cette 1^e visite. Lors de la 2^e visite on distinguera alors les bandes boisées des cloisonnements lors de mesures peuplement et bois mort, comme l'état « avant exploitation »

Mise en place des placettes

Premier tour de la parcelle

- acquérir au GPS la surface de la parcelle
- identifier les contrastes (pente, bois mort au sol, le peuplement ...)

Disposition des placettes de mesure

Minimum 2 points par parcelle éloigné des bordures de parcelles :

- Si pente → une en haut et une en bas ;
- Si contraste de bois mort → 1 côté chargé et 1 côté vide ;
- Si transition d'espèces → 1 sous chaque ;
- Si pas de contraste : faces d'un dé.



Placette « bois mort »

Dimension 1 =

si cloisonnement : 1 cloiso + 1 bande ;

sans cloisonnement : 15 m ;

Dimension 2 = 1 m.

Placette « peuplement »

Dimension 1 = Transect « bois mort »

Dimension 2 = jusqu'à 70 arbres mesurés

si cloisonnement = parallèle au cloiso

sans cloisonnement = perpendiculaire à la direction de la dimension 1

→ Schéma au verso de cette page →

Marquage

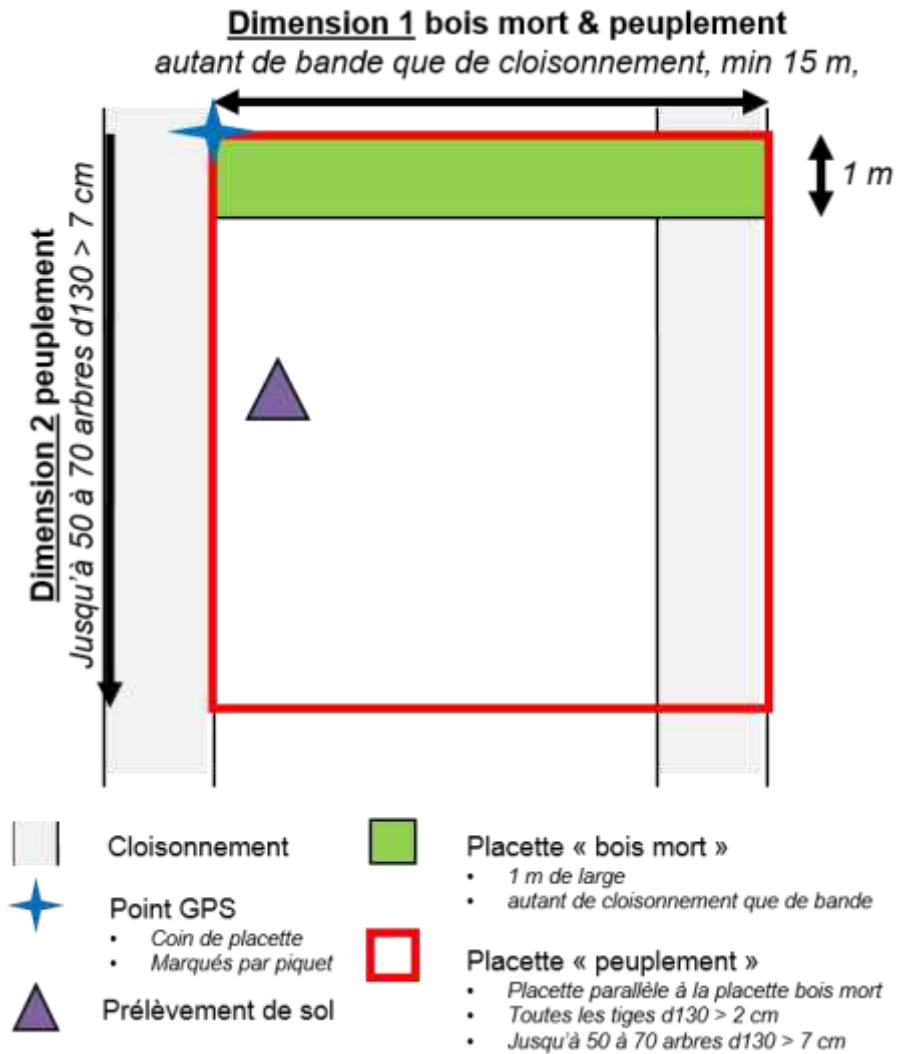
Marquer au mieux sans entraver le chantier

Relevés GPS d'un coin ;

Relevé des dimensions 1 et 2 + azimuts;

Bombe au sol et sur piquet(s) en bois affleurant(s) (couleur différente de la gestion)

Disposition des placettes « bois mort » et « Peuplement »



Bois mort

Sur le terrain, on pèse le bois mort et on récolte des échantillons à ramener au laboratoire pour mesurer leurs humidités et leurs concentrations en nutriments.

Les relevés de bois mort avant et après exploitation sur le même transect permettront de faire un bilan de l'impact de l'exploitation en termes de :

- Quantité : apport ou retrait de bois mort au sol ?
- Qualité : changement des contenus en nutriments liés à un rajeunissement ou un vieillissement des bois laissés au sol ?

Préparation

Délimiter la placette de mesure avec de la rubalise et des piquets

Découper les bois (tronçonneuse et sécateurs) le long de la rubalise et en petites longueurs pour faciliter leur manipulation

!! Bûcheronnage : porter les équipements de protection individuelle (EPI) et respecter les distances de sécurité !!

Ramassage

On ramasse tout le bois et/ou l'écorce visible dans des sacs en plastique (type cabas de supermarché).

On pèse par classe de diamètre médian de découpe

- 0 à 4 cm
- 4 à 7 cm
- 7 à 22 cm
- > 22 cm

On évite de prendre :

les feuilles et fruits décrochées des rameaux

les bois qui partent en poussière

- les bois enterrés

!! Poids des sacs : penser à tarer ou déduire la masse des sacs. !!

!! Bois longs : découper les côtés d'un sac pour en faire un berceau. !!

Prélèvement d'échantillons

Prélever au moins 50 g (plus = mieux) par classe de diamètre dans des sacs en kraft en indiquant : Site, Date, Placette, « Bois mort avant », Classe de diamètre

Peuplement

Les mesures sur le terrain alimenteront les modèles d'estimation de la biomasse :

$$biomasse = f(d130, H_{tot}, H_{dec}, espèce)$$

L'inventaire avant et après intervention permet de déduire les arbres abattus.

Dimensions de la placette

Le premier côté correspond à celui de la placette « bois mort ».

On allonge la placette parallèlement au cloisonnement (si pas de cloisonnement, perpendiculairement à la placette bois mort) jusqu'à avoir relevé 70 arbres.

On contraint le nombre d'arbres plutôt que la surface pour maîtriser le temps de mesure.

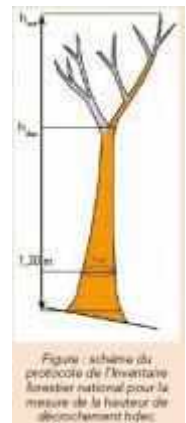
Relevés

- Essence ;
- d130 de tous les brins > 2cm (\Leftrightarrow c130 > 6cm)
- mort ?
- marqué pour l'exploitation ?
- numéro de souche pour les brins de cépées
- nombre de brin sur la souche pour les brins de cépées

+ pour 15 arbres représentatifs des essences et classes de diamètres

Htot = hauteurs totale

- Hdec = hauteur de décrochement



Hdec = hauteur où le diamètre de tige perd brutalement 10 % de son diamètre.

Si **mesures imprécise** (densité trop forte, feuillage) : annoter « 1 » dans la colonne « incertitude hauteur » de la fiche de relevé.

Permet d'ajuster l'effet « site » de modèles de prédiction des hauteurs qui seront appliqué pour prédire celles des autres arbres relevés :

$$Hauteur = f(espèce, c130, site)$$

+ Dimension 2 de la placette

La mesure de la surface parcourue pour relever le nombre de tiges permet de calculer la densité du peuplement.

Sol

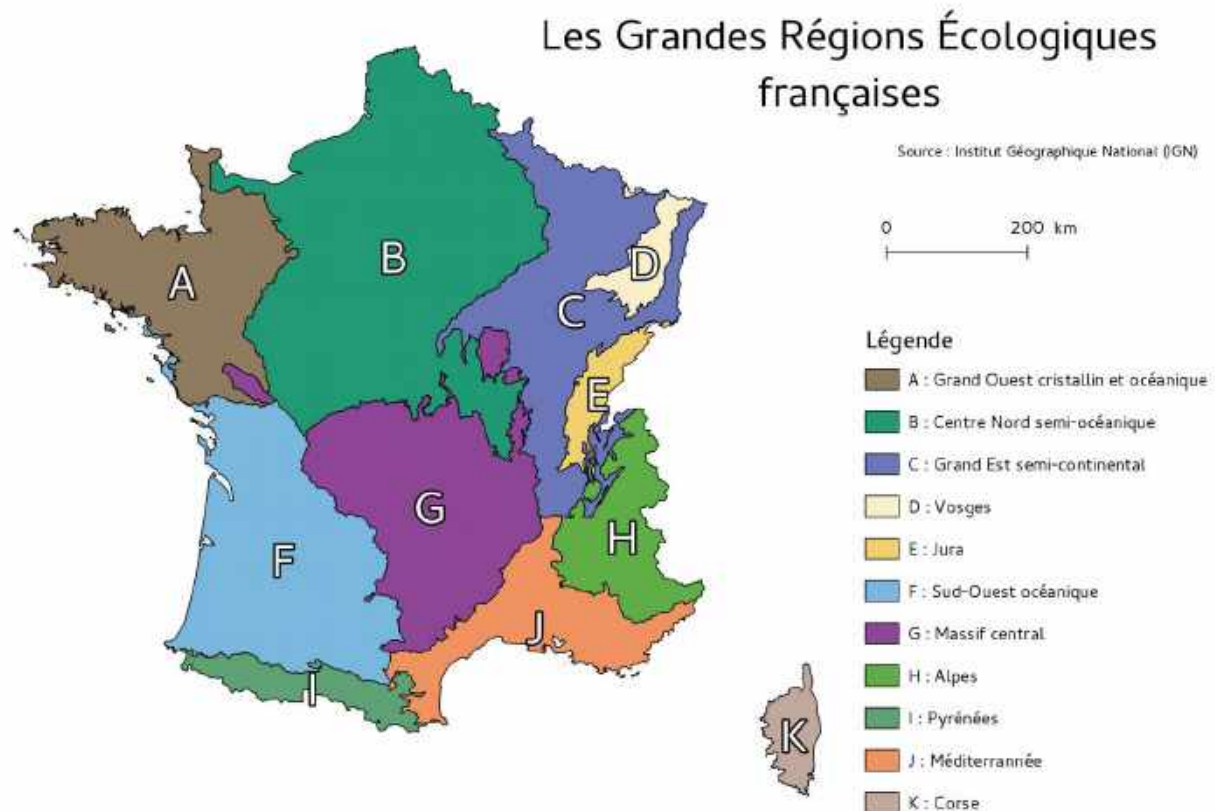
Adapté du protocole
"Sensibilité des sols à l'export supplémentaire de biomasse"
développé dans le cadre du projet INSENSE (REACTIF, Ademe),
dans une version test n°2 (Durante et al., octobre 2017)

+ prélèvement d'échantillons pour mesures complémentaires en laboratoire.

(voir dans la partie 0 « **Mesures en laboratoire** »)

Détermination Grande Région Ecologique (GRECO)

Situer le site dans sa GRECO selon la carte ci-après



Détermination du type d'humus

- sur 3 points proche du relevé afin d'apprécier une continuité/discontinuité :
 - Découper une portion d'humus (couteau, bêche) pour le voir en coupe.
 - OU** « Gratter » l'humus délicatement pour observer les couches successives.
 - Regarder la présence/absence des différents horizons de litière (OL, OF, OH)
- Déterminer le type d'humus avec la clé présentée ci-après.

Prélèvement de sol

A chaque point d'analyse :

prélever une carotte / motte des 10 premiers cm de sol dans un sac

- annoter le sac avec : Projet ; Site ; Date ; Placette ; Point ; « Sol 0 à 10 cm »

!! Le niveau de référence (0cm) pour la profondeur est la limite entre les horizons organiques et les horizons minéraux !!

La mesure de laboratoire se fera sur les éléments fins (<2 mm), hors éléments grossiers (EG).

Si pas d'EG → prélever 500 g

Si EG → prélever plus que 500 g

Texture du sol

- Prélever une bonne pincée de sol à environ 10 centimètres de profondeur.
⇒ Estimer la texture avec la clé présentée ci-après.

!! Prélever dans le premier horizon minéral, pas l'humus !!

On peut mouiller l'échantillon, et le malaxer pour obtenir une consistance homogène.

Profondeur de sol prospectable par les arbres et hydromorphie

- Creuser si possible jusqu'à 25 cm de profondeur (pioche puis tarière par exemple)

Estimer si les racines des arbres peuvent prospecter plus profond

Indiquer si il y a des traces d'hydromorphie (rouille ou/et concrétions) en notant présence ou absence

Exemples d'obstacles aux racines :

nappe permanente, horizon extrêmement compact, dalle horizontale

Effervescence (test du calcium actif dans le sol)

- Verser quelques gouttes d'acide chlorhydrique (dilué au 1/10^{ème}) sur une coupe de sol de 0 à 25 cm
- Noter si la terre fine fait effervescence (terre fine = éléments < 2 mm)

!! Achat HCl : droguerie, magasin de bricolage.

Attention au degré de dilution initial !!

effervescence localisée sur les éléments grossiers ;

- effervescence n'apparaît qu'après 25 cm ;

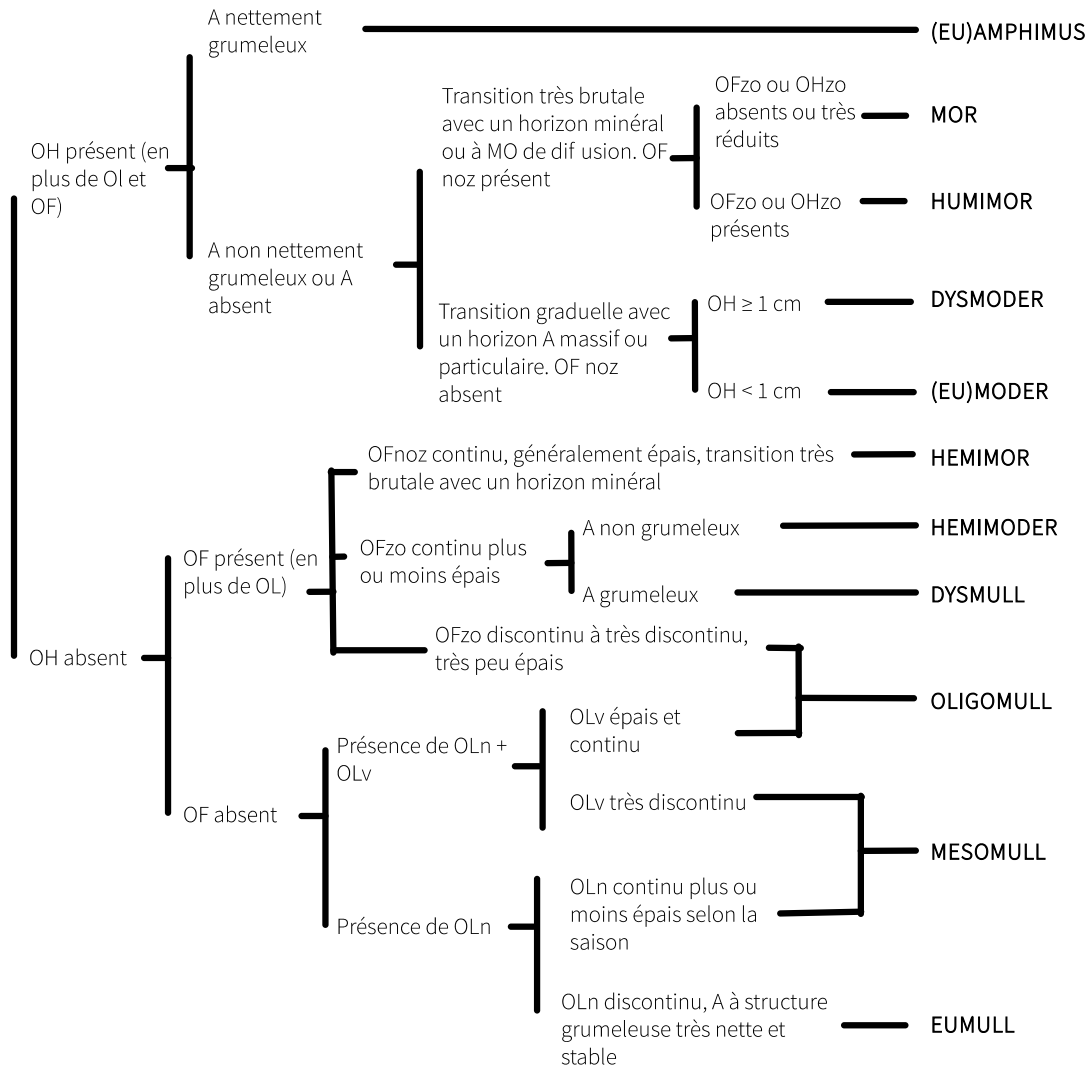
- pas possible de creuser jusqu'à 25 cm ;

Cocher « NON ».

Fiche humus (1/2) : clé de détermination

Extrait des fiches développées dans le cadre du projet INSENSE
(REACTIF, Ademe, Durante et al., octobre 2017)

(ne convient pas aux formes engorgées ou sans terre fine)
Adapté de Jabiol et al. et du Référentiel pédologique 2008



1. Lorsque l'horizon A fait effervescence à HCl, les formes d'humus sont qualifiées de carbonatées
2. Lorsque l'horizon A ou le premier horizon minéral présente des caractères d'hydromorphie, les formes d'humus sont qualifiées d'hydro (exemple : hydromull, hydromor...)

Fiche humus (2/2) : les horizons de l'humus

Extrait des fiches développé dans le cadre du projet INSENSE
(REACTIF, Ademe, Durante et al., octobre 2017)

OL = horizon constitué de débris foliaires non ou peu évolués et de débris ligneux et contenant moins de 10% en volume de matière organique fine

OLn = débris foliaires et ligneux de l'année

OLv = débris végétaux peu fragmentés mais visiblement modifiés depuis le moment de leur chute (couleur, cohésion, dureté) et collés en paquets plus ou moins lâches à cohérents

OLt = débris végétaux plus ou moins fragmentés, mais résultants de l'activité des vers anéciques, *sans matière organique fine en mélange* et reposant directement sur l'horizon A. Des turricules de vers de terre sont souvent présents dans cette couche (forte activité biologique).

OF = horizon formé de résidus végétaux surtout d'origine foliaire plus ou moins fragmentés, reconnaissables à l'œil nu, *en mélange avec 10 à 70% en volume de matières organiques fines.*

OFzo = horizon OF zoogène, les matières organiques fines correspondent à des boulettes fécales (forme arrondie) de la faune de la litière plus ou moins transformées

OFnoz = horizon OF non zoogène sans activité animale notable dans lequel la fragmentation sont d'origine mécanique (gel/dégel...) donnant une structure feuilletée assez compacte

OH = horizon contenant plus de 70% en volume de matières organiques fines (hors racines fines), peut contenir quelques minéraux silicatés

OHzo = OH zoogène dont les constituants sont majoritairement issus de l'accumulation et de la transformation des boulettes fécales de la faune de la litière

OHnoz = non zoogène, sans activité animale actuelle identifiable à l'œil nu, structure fibreuse, massive ou particulière (horizon se pulvérise)

A = horizon organo-minéral contenant en mélange des matières organiques et des matières minérales.

NE PAS CONFONDRE OLt et OF

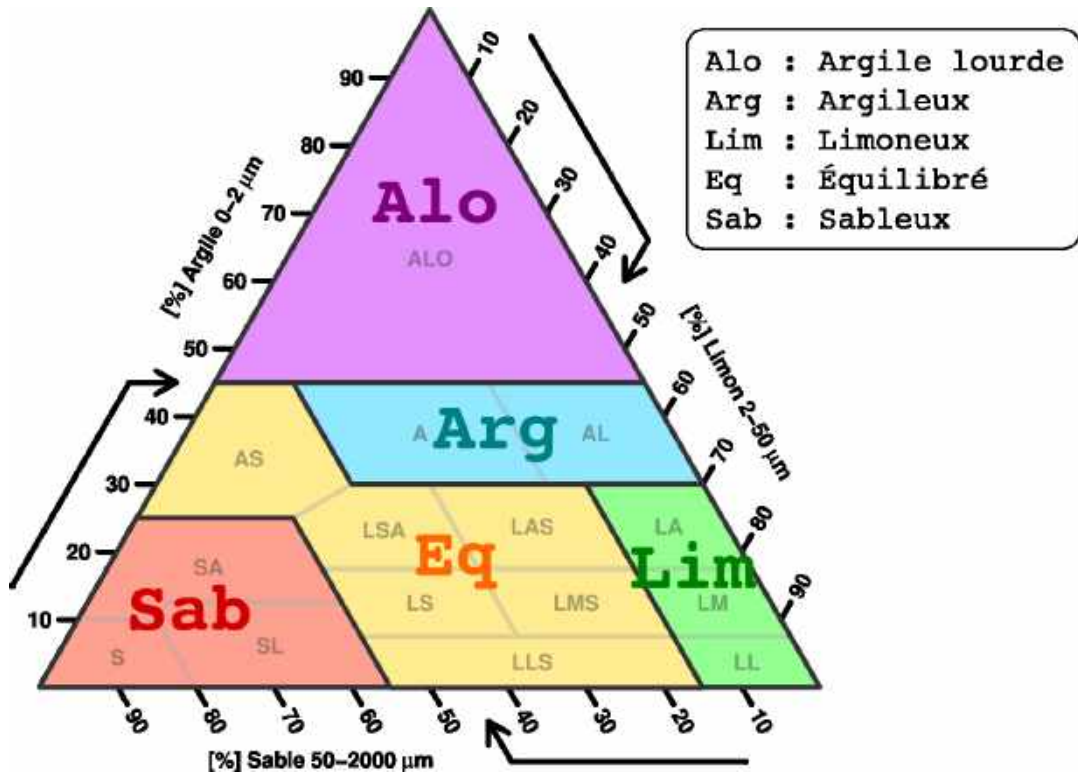
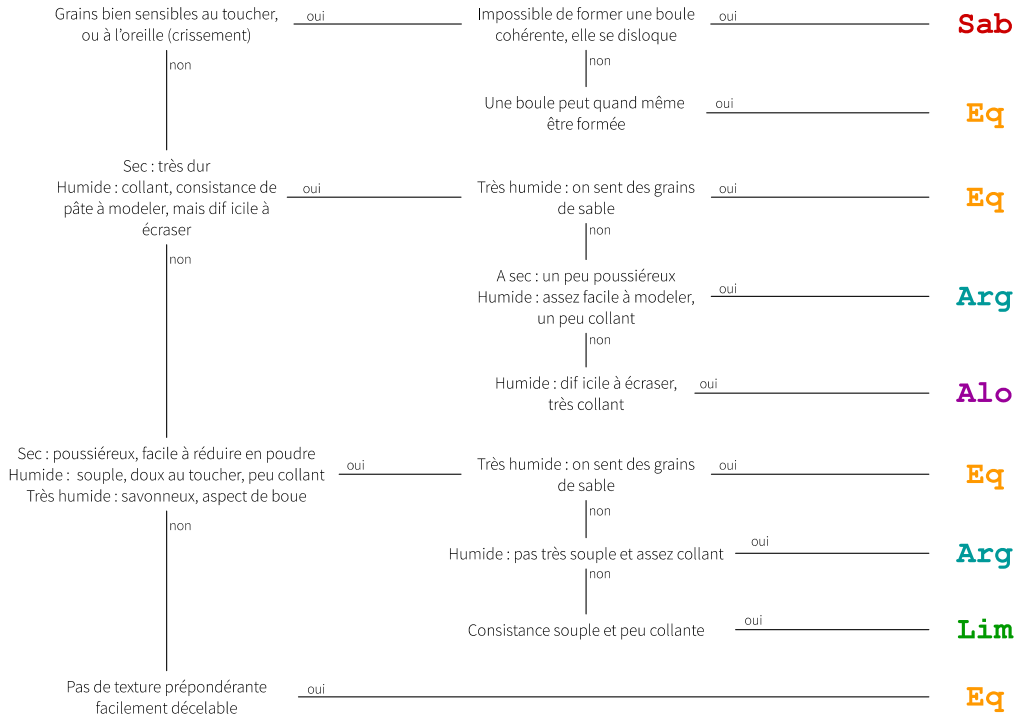
Dans la couche OF, on voit très bien des petites boulettes fécales (taille millimétrique) intercalées entre les débris végétaux. Ce n'est pas le cas dans la couche OLt : la matière organique n'y est pas visible.

C'est une erreur fréquente qu'il est d'important d'éviter !

Fiche texture

Extrait des fiches développées dans le cadre du projet INSENSE
(REACTIF, Ademe, Durante et al., octobre 2017)

Sableux | **Équilibré** | **Limoneux** | **Argileux** | **Argile lourde**



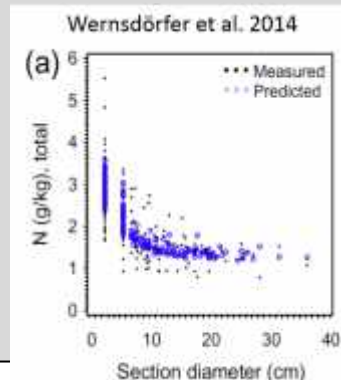
Juste après abattage

Bois vert

On prélève dans les bois abattus des échantillons représentatifs des diamètres de bois et des espèces, à ramener au laboratoire pour déterminer leur humidité et leur concentration en nutriments

Ces mesures de concentration permettent d'ajuster l'effet du site sur des modèles de prédiction des contenus en nutriments : (« de découpe » = « de la rondelle »)

$$[\text{nutriment}] = f(\text{espèce}, \text{diamètre de découpe}, \text{site})$$



Pour chaque placette de mesure, dans 2 à 3 javelles (tas de bois) proches :

- Identifier les essences présentes par la javelle
- Annoter des sacs de kraft en conséquence :
 - ⇒ Date ; Site ; « Bois verts » ; Placette ; Javelle ; Espèce
- Prélever au moins 5 échantillons par espèce :
 - ⇒ 1 rondelle de pied ;
 - ⇒ 1 rondelle de milieu de tige ;
 - ⇒ 3 rondelles < 10cm ;
 - ⇒ un rameau (avec ses feuilles s'il y a lieu).



EXEMPLE D'ÉCHANTILLONNAGE
POUR DEUX ARBRES DE 130 DIFFÉRENTS

Exemple : 2 placettes * 2 javelles * 3 espèces/javelle * 5 échantillons/espèce/javelle
= 60 échantillons dans 12 sacs de kraft

!! Ne pas essayer de reconstituer un arbre individuel :
il n'y a pas d'effet individu dans les modèles !!

!! On insiste sur les diamètres <10 cm, afin de percevoir leur
grande variabilité de concentrations en nutriment !!

!! Les grosses rondelles qui n'entrent pas dans les sacs
sont annotées sur leur section en laissant au moins une « part de camembert »
(de la moelle à l'écorce) non polluée pour l'analyse !!

!! Les rondelles doivent peser au environ 50 g minimum :
pour les diamètres fins, les rondelles sont plutôt des barreaux de bois !!

!! Purger les sections que la machine d'abattage aurait pu souiller !!

Peuplement

Les mesures sur le terrain alimenteront les modèles d'estimation de la biomasse :

$$biomasse = f(d130, H_{tot}, H_{dec}, espèce)$$

L'inventaire avant et après intervention permet de déduire l'inventaire des arbres abattus.

Retrouver les placettes

Grace aux relevés GPS et aux marques laissées au sol lors du relevé avant coupe.

Relevés

Plusieurs possibilités :

- On avait numéroté les arbres mesurés lors de la première mesure (discrètement, par exemple à la souche)

il suffit de relever les numéros des arbres qui restent ;

- Les arbres coupés sont peu nombreux et facilement identifiables

Les déduire de l'inventaire avant intervention ;

- On refait un inventaire exhaustif sur la placette puis on compare avant intervention

Juste après débardage

Bois bord de route

On prélève sur place de dépôt dans les bois débardés correspondant à la parcelle étudiée, des échantillons représentatifs des diamètres de bois et des espèces, à ramener au laboratoire pour déterminer leur humidité et leur concentration en nutriments.

Ces mesures de concentration permettent d'estimer l'effet du temps de ressuyage entre abattage et débardage sur l'humidité et le contenu en nutriments des bois.

- Une perte d'humidité correspond à un gain de qualité pour le combustible ;
- La différence de contenu en nutriments en considérée dans le bilan d'exportations minérales de l'exploitation.

Pour chaque tas identifié en bord de route :

- Identifier les essences présentes dans le tas
- Annoter des sacs de kraft en conséquence :
 - ⇒ Date ; Site ; « Bord de route » ; Tas ; Espèce
- Prélever au moins 5 échantillons par espèce :
 - ⇒ 1 rondelle de pied ;
 - ⇒ 1 rondelle de milieu de tige ;
 - ⇒ 3 rondelles < 10cm ;
 - ⇒ un rameau (avec ses feuilles s'il y a lieu).



Exemple : 2 placettes * 2 javelles * 3 espèces/javelle * 5 échantillons/espèce/javelle
= 60 échantillons dans 12 sacs de kraft

!! Ne pas essayer de reconstituer un arbre individuel :
il n'y a pas d'effet individu dans les modèles !!

!! On insiste sur les diamètres <10 cm, afin de percevoir leur grande variabilité de concentrations en nutriment !!

!! Les grosses rondelles qui n'entrent pas dans les sacs sont annotées sur leur section en laissant au moins une « part de camembert » (de la moelle à l'écorce) non polluée pour l'analyse !!

!! Les rondelles doivent peser au environ 50 g minimum : pour les diamètres fins, les rondelles sont plutôt des barreaux de bois !!

!! Purger les sections que la machine d'abattage aurait pu souiller !!

Bois mort

Sur le terrain, on pèse le bois mort et on récolte des échantillons à ramener au laboratoire pour mesurer leurs humidités et leurs concentrations en nutriments.

Les relevés de bois mort avant et après exploitation sur le même transect permettront de faire un bilan de l'impact de l'exploitation en termes de :

- Quantité : apport ou retrait de bois mort au sol ?
- Qualité : changement des contenus en nutriments liés à un rajeunissement ou un vieillissement des bois laissés au sol ?

Préparation

Retrouver et délimiter la placette de mesure avec de la rubalise et des piquets
Découper les bois (tronçonneuse et sécateurs) le long de la rubalise et en petites longueurs pour faciliter leur manipulation

!! Bûcheronnage : porter les équipements de protection individuelle (EPI) et respecter les distances de sécurité !!

Ramassage

On ramasse tout le bois et/ou l'écorce visible dans des sacs en plastique (type cabas de supermarché).

On pèse par classe de diamètre médian de découpe

- 0 à 4 cm
- 4 à 7 cm
- 7 à 22 cm
- > 22 cm

On évite de prendre :

les feuilles et fruits décrochées des rameaux

les bois qui partent en poussière

!! Bois enterrés : ici on tâche de retrouver les bois enterrés lors de l'exploitation !!

!! Poids des sacs : penser à tarer ou déduire la masse des sacs. !!

!! Bois longs : découper les côtés d'un sac pour en faire un berceau. !!

Prélèvement d'échantillons

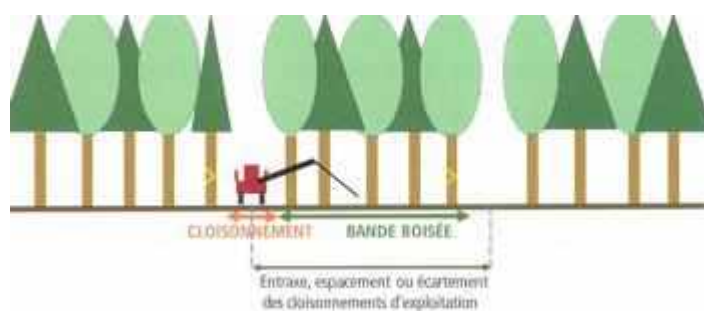
Prélever au moins 50 g (plus = mieux) par classe de diamètre dans des sacs en kraft en indiquant : Site, Date, Placette, « Bois mort après », Classe de diamètre

Cloisonnements

L'objectif est de caractériser les cloisonnements et la circulation des engins. On entend dans ce protocole par **cloisonnement**, les itinéraires de circulation préalable réfléchis et matérialisés par le gestionnaire forestier (schéma de cloisonnements). Ce qui est différent des **voies de circulation** des engins.

Cela permet de calculer :

- la largeur moyenne des cloisonnements et des bandes boisées,
- l'entraxe des cloisonnements,
- la surface occupée par les cloisonnements



Parcours

Si la parcelle fait l'objet d'un schéma de circulation établi par le gestionnaire, faire un transect coupant perpendiculairement (à 90°) un nombre représentatif de cloisonnements (à minimum 5 cloisonnements).

Relevés

Il faut relever :

les largeurs des bandes boisées,
les largeurs des cloisonnements,

Noter aussi si les cloisonnements pour ce chantier bois-énergie sont :

Déjà existants et réutilisés en l'état,

Déjà existants mais élargis,

Créés.

Moyennes des largeurs de cloisonnement et de bande boisée

Entraxe = largeur du cloisonnement + largeur de la bande boisée

Entraxe moyen = Moyenne des entraxes

% de surface occupée = $\frac{\text{Largeur moyenne de cloiso}}{\text{Entraxe moyen}}$

Impacts au sol

L'objectif est d'évaluer rapidement l'impact physique des engins forestiers sur le sol. Cela permet d'en déduire :

- la part de la surface circulée,
- les types de perturbations dans les zones circulées,
- la couverture par les rémanents des zones circulées.

Parcours

Parcourir la parcelle avec un azimuth environ 45° par rapport aux lignes de parcelles :

- carré ou rectangle court :

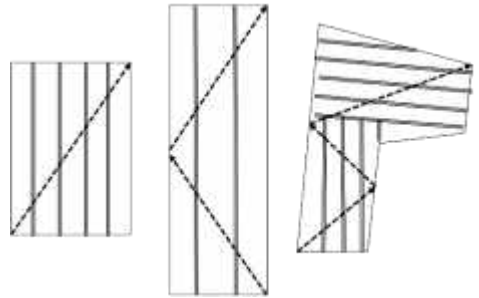
diagonale

- rectangle long

1 zig-zag

- irrégulier

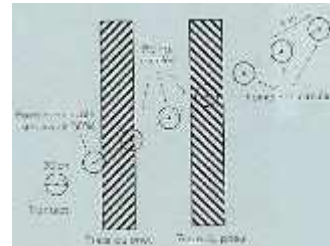
zig-zag couvrant un maximum de surface



Relevés

Les points de relevé tous les mètres correspondent à :

- Des points non circulés
- des points circulés (sous et entre les roues)



Les **points circulés** sont caractérisés par leur état majoritaire dans un cercle de 30 cm de rayon :

- Cloisonnements

dans / hors cloisonnement

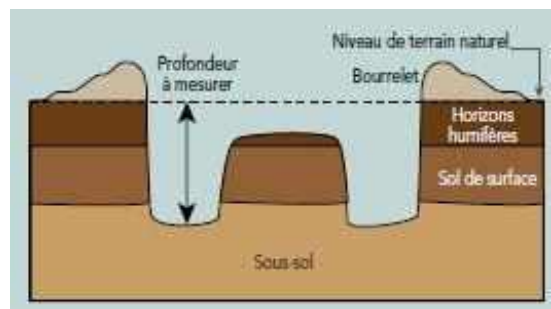
- Profondeur de la perturbation

(profondeur au milieu de la perturbation, sous le bourrelet latéral)

Pas de perturbations ; < 5 cm ; 5 à 15 cm ; 15 cm

- Couverture de rémanents

Pas de rémanents ; < 10 cm ; 10 à 30 cm ; > 30 cm



$$\text{surface circulée} = \frac{\text{nbr de pts relevés circulés}}{\text{distance parcourue}} \times 100$$

Préciser la part de circulation « sur les cloisonnements » et « hors cloisonnement »

Sur les surfaces circulées :

$$\text{par type de perturbation} = \frac{\text{nbr de pts perturbés d'un type}}{\text{total points circulés}} \times 100$$

$$\text{par type de couverture de rémanents} = \frac{\text{nbr de pts d'une catégorie}}{\text{total points circulés}} \times 100$$

Mesures en laboratoire

Certaines de ces analyses de laboratoire ont employé du matériel de laboratoire de pointe et beaucoup de temps de travail, elles peuvent être sous-traitées à des laboratoires spécialisés pour un coût important.

!! Penser à l'anticiper !!

Humidité des bois

On mesure l'humidité sur masse brute (Hb) :

$$Hb = \frac{\text{masse fraîche} - \text{masse sèche}}{\text{masse fraîche}}$$

Cela permet ensuite de :

Convertir les masses fraîches mesurées sur le terrain en masses sèches :

$$\text{Masse sèche} = \text{masse fraîche} * (1 - Hb)$$

Evaluer les quantités $[\text{nutriment}]$ via les concentrations $[\text{nutriment}]$ mesurées sur masse sèche :

$$[\text{nutriment}] = [\text{nutriment}] * \text{masse sèche}$$

Rapidement après collecte des échantillons :

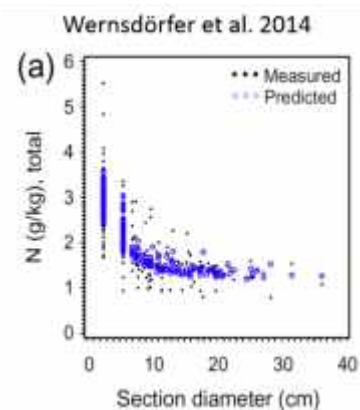
- Pesée de la masse fraîche : mf
- Etuve à 65°C jusqu'à stabilisation de la masse
 - ⇔ pertes < 5 % en 24h
- Pesée de la masse sèche : ms

Afin d'éviter de perdre des morceaux à la manipulation (échantillons morcelés, décollement des écorces)
on peut peser les échantillons dans leur sac.
(On considère que les sacs de kraft équilibrent leur humidité avec les échantillons qu'ils contiennent)

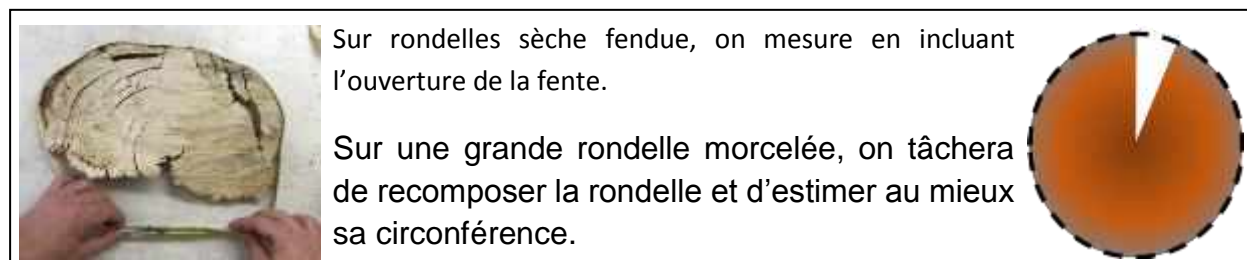
Circonférence

La circonférence des échantillons « Bois verts » et « Bois bord de route » participe à ajuster l'effet du site sur des modèles de prédiction des contenus en nutriments : (« de découpe » = « de la rondelle »)

$$[\text{nutriment}] = f(\text{espèce}, \text{diamètre de découpe}, \text{site})$$



On mesure la circonférence sur écorce des échantillons lors du déballage des échantillons pour broyage.



Broyage

Le broyage prépare les échantillons « Bois vert », « Bois bord de route » et « Bois mort » aux analyses de leur contenu en nutriments :

- au spectromètre à infra-rouge ;

OU

- en mesures chimiques.

Le broyage se fait en trois temps :

Fente du bois en morceaux d'environ 5 cm de côté.

(Ici avec un sécateur coupe-branches fixé sur un support « maison »)

Broyeur à couteaux criblés à 1 cm

(Ici Pulvérisette 25 de la marque Fritsch)

Broyeur à anneaux (9') pour produire une poudre fine

(Ici CB2200 de la marque Sodemi)

Le broyage se fait sur matière bien sèche (re-sécher si nécessaire).

La poudre obtenue doit être suffisamment fine pour permettre une surface régulière dans les puits du scanner infra rouge (image 4 ci-contre)



Nutriments

Les teneurs en nutriments sont mesurées pour l'azote (N), le soufre (S), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le sodium (Na), l'aluminium (Al).

Acquisition d'estimation au spectromètre infra-rouge (NIRS-MIRS)

Cette mesure sur poudre sèche demande relativement peu de préparation mais elle est indirecte (elle repose sur des modèles statistiques qui prédisent les concentrations) et nécessite validation par une mesure directe.

- La lumière infra-rouge (IR) interagit avec les liaisons moléculaires qui peuvent la refléter, l'absorber et/ou émettre une autre longueur d'onde ;
- La lumière IR qui ressort est décomposée en 6 500 longueurs d'ondes et leur intensité : un spectre ;
- Des modèles statistiques permettent d'en prédire la composition minérale.



Acquisitions de validation à au spectromètre d'émission atomique à plasma couplé par induction (ICP-AES)

10 % des échantillons sont soumis à cette mesure chimique directe qui sert à valider les prédictions faites à partir des spectres NIRS-MIRS.

- Les poudres mises en solution dans de l'acide sont introduites dans l'ICP-AES ;
- L'ICP-AES produit un plasma : chaque élément émet une lumière caractéristique (émission atomique)
- La composition de la lumière émise est analysée (longueur d'onde x intensité) et la composition élémentaire en est déduite (élément x concentration).

Sol

Les analyses de sol sont sous-traitées au
Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras (INRA)
<https://www6.npc.inra.fr/las/>

Les échantillons de sol sont séchés pour conservation

- 35°C
- jusqu'à stabilisation de la masse

Ils sont accumulés et envoyés en fin de projet au laboratoire d'analyse pour :

- **pH eau** (NF ISO 10390)
- Dosages en :
 - Nutriments échangeables (**Ca Mg** et **K** ; NF X 31-130)
 - Phosphore (**Ptot** ; NF ISO 22036)
 - Carbone organique (**Corg** ; extraits par combustion sèche ; NF ISO 10694)
 - Azote total (**Ntot** ; NF ISO 13878)

Pour aller plus loin

On peut doser d'autres éléments d'intérêt :

S, Mn, Na et Al
(NF X 31-130)

Listes de matériel (à cocher)

Matériel de base (Toutes les visites)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Vêtements de sécurité
(Si travaux d'exploitation en cours)
(Casques + gilets fluo + chaussures) | <input type="checkbox"/> Double décamètre |
| <input type="checkbox"/> Planchette + Crayons
(en grand nombre car on les perd) | <input type="checkbox"/> Rubalise (a minima 100 m) |
| <input type="checkbox"/> Ordinateur de terrain
<u>OU</u> fiches de relevés | <input type="checkbox"/> Sacs à dos robustes (type sports collectifs) pour petit matériel échantillons |
| <input type="checkbox"/> Bombes de peinture
(couleur différente du marquage d'exploitation) | <input type="checkbox"/> Scotch solide + Ficelle + Couteau
(pour bricoler/rafistoler le matériel) |

Installer et retrouver les placettes (Visite 1)

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Fiche placette
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> GPS |
| <input type="checkbox"/> Boussole | <input type="checkbox"/> Piquets bois peints (6 par placette) |
| <input type="checkbox"/> Décamètre
<u>OU</u> Suunto / vertex | <input type="checkbox"/> Marteau (si pas de merlin) |

Sol (Visite 1)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Fiche sol
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> Bêche |
| <input type="checkbox"/> Clé des humus | <input type="checkbox"/> Mètre |
| <input type="checkbox"/> Tarière | <input type="checkbox"/> Sacs congélation |
| | <input type="checkbox"/> Marqueur feutre |

Peuplement (Visites 1 et 2)

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Fiche peuplement
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> Dendromètre clinomètre (hauteur)
(Suunto ou Vertex) |
| <input type="checkbox"/> Compas forestier (diamètre)
<u>OU</u> Ruban (circonférence) | |

Impacts au sol (Visite 3)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Fiche impact au sol
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> Mètre rigide (profondeur d'ornièrè) |
| <input type="checkbox"/> Topofil + bobine de rechange | <input type="checkbox"/> Boussole |
| | <input type="checkbox"/> Barre rigide 1m50 à 2m (niveau sol) |

Cloisonnement (Visite 3)

- | | |
|--|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Fiche informations générales
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> Boussole |
| <input type="checkbox"/> Topofil avec bobine de rechange
<u>OU</u> Vertex | |

Bois vert et Bois bord de route (Visites 2 et 3)

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Fiche bois vert / bord de route
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> Petits matériel de bûcheronnage
(coin, merlin, tourne-bille ...) |
| <input type="checkbox"/> Tronçonneuse | <input type="checkbox"/> Sécateur à main (+ 1 secours) |
| <input type="checkbox"/> Matériel d'entretien tronçonneuse
(clé à bougie, lime ...) | <input type="checkbox"/> Crayon pour bois humide
(fuchsine ou menuiserie humide) |
| <input type="checkbox"/> Carburant et huile | <input type="checkbox"/> Sacs de kraft 20 litres
(1 par échantillon) |
| <input type="checkbox"/> EPI de bûcheronnage
(Pantalon + gants + casque +
chaussures ou bottes) | <input type="checkbox"/> Grand sac solides
(rassembler les échantillons) |

Bois mort (Visites 1 et 3)

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Fiche bois mort
(ordi ou papier) | <input type="checkbox"/> Petits matériels (coin, merlin, tourne-
bille, pince à billon) |
| <input type="checkbox"/> Tronçonneuse | <input type="checkbox"/> Gabarits diamètre 4, 7 et 22 cm
(à découper dans du contreplaqué) |
| <input type="checkbox"/> Matériel d'entretien tronçonneuse
(clé à bougie, lime ...) | <input type="checkbox"/> Cabas de supermarché solides
(au moins 4) |
| <input type="checkbox"/> Carburant et huile | <input type="checkbox"/> Crayon pour bois humide
(fuchsine ou menuiserie humide) |
| <input type="checkbox"/> EPI de bûcheronnage
(Pantalon + gants + casque +
chaussures ou bottes) | <input type="checkbox"/> Sacs de kraft 20 litres
(1 par échantillon) |
| <input type="checkbox"/> Petits matériel de bûcheronnage
(coin, merlin, tourne-bille ...) | <input type="checkbox"/> Grand sac solides
(rassembler les échantillons) |
| <input type="checkbox"/> Sécateur de force (+ 1 secours) | <input type="checkbox"/> Peson + trépied
<u>OU</u> Balance + table
(1 kg min, 15 kg max, précision 100g) |
| <input type="checkbox"/> Sécateur à main (+ 1 secours) | |



et les analyses de chantiers

Le projet GERBOISE vise à compléter les connaissances et les recommandations pour l'exploitation de menus bois pour l'énergie, telles que formulées dans le guide ADEME « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » paru en 2006 (couverture ci-contre).

La construction du protocole d'analyse de chantiers bois énergie constitue le volet 3 du projet GERBOISE. Le but était de définir et tester le présent protocole permettant de quantifier, par type de chantier, le ratio entre biomasse prélevée et biomasse restante et les types de perturbation au sol, à un instant t correspondant au chantier.



Le guide ADEME de 2006

Les questions auxquelles l'analyse vise à répondre à des questions peuvent être :

- **Quels sont les différents types d'exploitation de bois énergie ?**
(Types de bois exploités, types de sols, méthodes d'exploitation)
- **Quelle intensité d'exportations de biomasse et nutriments ?**
(Par rapport à la biomasse restant dans le peuplement et au sol)
- **Quel impact sur les bois mort au sol ?**
(Apports ou réduction des quantités ? Modification des classes de diamètres ?)
- **Quel impact physique sur les sols ?**
(Fréquence et respect des cloisonnements, profondeur et couverture des ornières)

Les données issues des mesures de ce protocole sont compilées dans une base de données brutes hébergée en ligne sur une espace SharePoint par FCBA. L'accès restreint est géré par Emanuel CACOT.

emmanuel.cacot@fcba.fr.

Des images du terrain des campagnes GERBOISE (photos et vidéos) seront mises en ligne sur le site du projet.

<http://www.gip-ecofor.org/gerboise>

Annexe 4. Fiches synthétiques des chantiers suivis dans le projet GERBOISE

Chantier de Chasse (38)	87
Chantier de Chatillon Laborde (77)	91
Chantier de Compiègne (60)	95
Chantier de Corribert (51)	99
Chantier de Ecquevilly (78)	103
Chantier de Gault (51)	107
Chantier de Neuville-en-Argonne (55)	111
Chantier de Reuilly-Sauvigny (02)	115
Chantier de Saint Pierre de Côte (24)	119
Chantier de Taradeau (83)	124
Chantier de Vert-Toulon (51)	128

Fiche synthétique

Chantier de Chasse (38)

A. Description générale du site

Données administratives

Région	Auvergne-Rhône-Alpes
Département	Isère
Commune	Eyzin-Pinet

Propriétaire	Etat
Gestionnaire	ONF

Données peuplement et station

Type de peuplement	Taillis de charme avec réserves de chêne
Age si futaie régulière ou taillis	inconnu
Essences	Charmes (72,1 %tiges) Chênes (10,5 %tiges) Merisiers (9,4 %tiges) Aubépine (7,9 %tiges)
Hauteur moyenne totale	10,73m (13,50m pour le chêne)
Hauteur moyenne de décrochement	4,71m (6,04m pour le chêne)
pen	Nulle

Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Mesomull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Limoneux
Hydromorphie à 25cm	Oui
Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Sensibilité des sols d'après guide ADEME 2006	Faible
Sensibilité des sols d'après INSENSE	Moyenne
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 5,00793°E – 45,49145°N

B. Caractéristiques du chantier

Données chantier

Type d'intervention	Coupe rase du taillis
Essences récoltées	Chênes, Charmes, Aubépine, Merisier
Abattage	hors feuilles
Surface du chantier	10,23 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : cisaille sur pelleteuse 14 T – période : février / 2017 (hors feuilles) – durée : 15 jours
	Débardage : porteur – période : mars / 2017 (hors feuilles) – durée : 7 jours
Temps de ressuyage sur parcelle	Entre 15 et 30 jours
Intensité de prélèvement	39 % du volume sur pieds 100 % du taillis de charme 14 % des réserves de chênes 51 % des merisiers
Volume prélevé calculé	735 m ³ de bois fort prélevés sur 2 489 m ³ au total, majoritairement dans le charme 72 m ³ /ha
	<p>The chart displays the volume of wood (m³) for four species: charme, chêne sessile, D2 générique, and merisier. For each species, there are two bars: 'total' and 'coupe'. The bars are stacked with three compartments: '0_4' (light green), '4_7' (orange), and 'bois_fort' (dark brown). The y-axis represents volume in m³, ranging from 0 to 1000. The 'bois_fort' compartment is the most significant across all species, particularly for 'chêne sessile' and 'charme'.</p>
Tonnage entrée usine	504,58 tonnes brutes pour tout le chantier ⇒ 49,32 tonnes brutes / ha
Humidité moyenne des bois entrée usine*	Les données seront complétées prochainement

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 4,40 m, pour un entraxe de cloisonnement de 18,4 m et une surface cloisonnée de **24** %.

Circulation des engins

27 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un chantier **moyen** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Chasse			27%		

Perturbations du sol

29 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
0 %	71 %	27 %	2 %

Cela correspond à **8** % de la surface totale du chantier. C'est donc un chantier **médiocre** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Chasse				8 %	

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (<7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

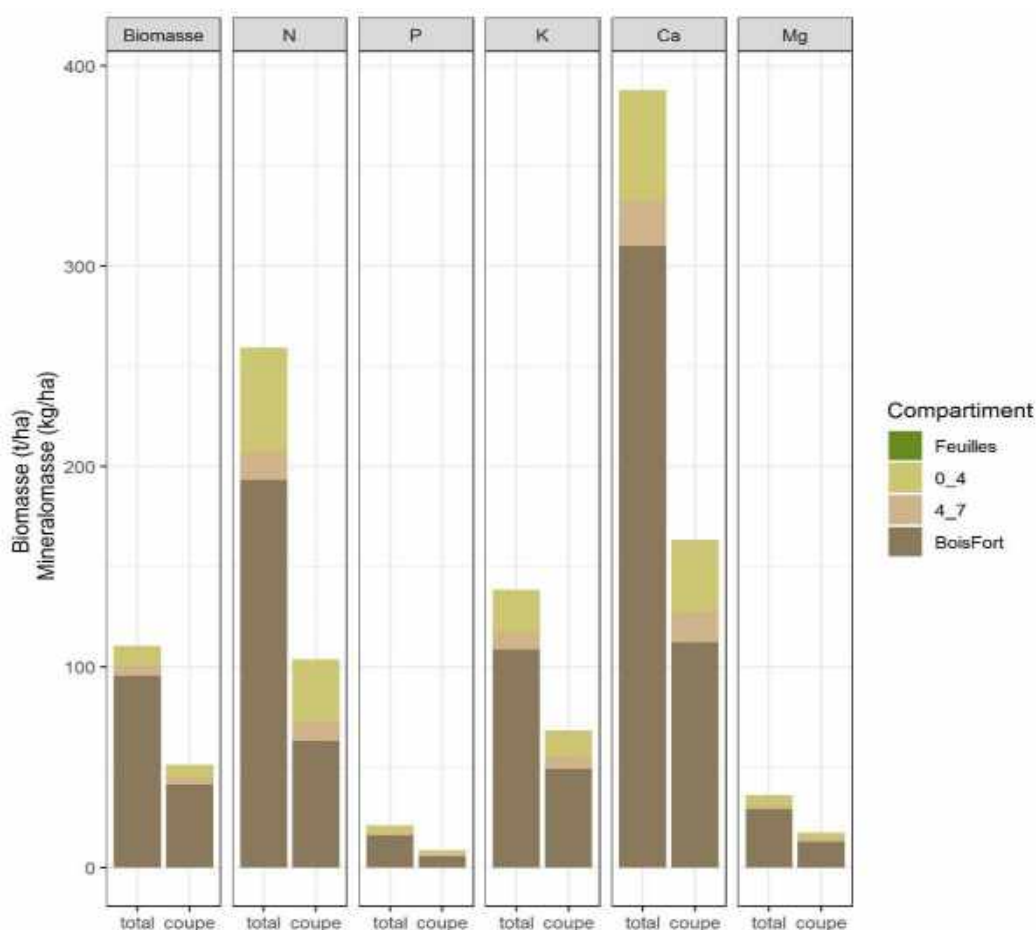
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 13 % et 18 %	>100 %

Le chantier de Chasse se trouvant sur une zone de sensibilité modérée à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 30 % des menus bois sur la parcelle d'après le Guide de bonnes pratiques de récolte des rémanents. Cet objectif est ici atteint pour les gros diamètres mais pas pour les brindilles.

Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	111	259	21	139	388	36
Après	59	155	12	70	224	19
BILAN	51	104	9	68	163	17
% exportations	46 %	40 %	41 %	49 %	42 %	48 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire qu'un peu moins de trois quarts des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Ce chantier présentait une faible densité de peuplement pouvant expliquer le faible taux de perte de menus bois 0-4cm par hectare ; et des arbres de petite taille, laissant présumer un sol peu fertile.

Fiche synthétique

Chantier de Chatillon Laborde (77)

A. Description générale du site

Données administratives

Région	Ile de France
Département	Seine et Marne

Commune	Chatillon Laborde
Propriétaire	Particulier

Données peuplement et station

Type de peuplement	Taillis de tilleuls Futaie de chênes et épicéas
Age si futaie régulière ou taillis	inconnu
Essences	Tilleul (96,9 %tiges) Epicéas de Sitka (1,5 %tiges) Tremble (1 %tiges) Bouleau (0,5 %tiges) Chêne (0,1 %tiges)
Hauteur moyenne totale	13,59m (19,26m pour l'épicéa)
Hauteur moyenne de décrochement	7,82m (15,37m pour l'épicéa)
penne	Nulle

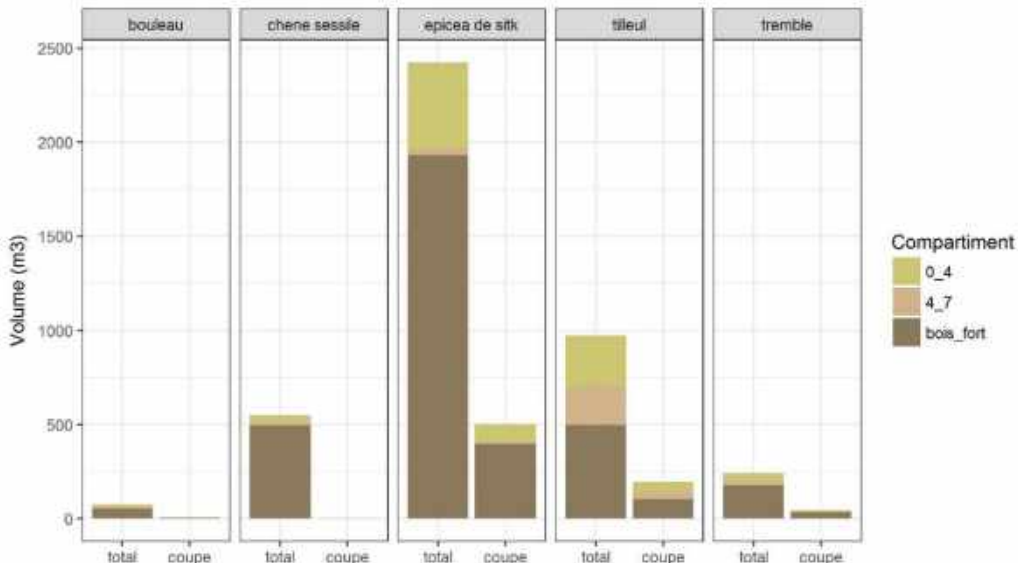
Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Mesomull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Limoneux
Hydromorphie à 25cm	Oui
Réaction à Hcl avant 25cm	absence
Sensibilité des sols d'après INSENSE	moyenne
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année.



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 2,820053°E – 48,54035°N

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Ouverture de cloisonnement + prélèvement des épicéas SITKA dépérissant dans les interbandes
Essences récoltées	chêne, épicéa de sitka, tilleul, tremble, bouleau
Abattage	en feuille
Surface du chantier	6,8 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : pelle + cisailles (Doosan dx 140 + cisaille S350) – période : juillet-août 2017 (en feuilles) – durée : 3 jours
	Débardage : porteur (logset 6F) – période : août 2017 (en feuilles) – durée : 3 jours
Temps de ressuyage sur parcelle	9 semaines
Intensité de prélèvement	22 % de la biomasse sur pieds
Volume prélevé calculé	538 m ³ de bois fort prélevés sur 3 155 m ³ au total, soit 17 % du volume bois fort sur pieds 79 m ³ /ha prélevés
	
Tonnage entrée usine*	130 tonnes sèches pour le chantier 19 Tonnes sèches/ha
Humidité moyenne des bois entrée usine*	36,7 %

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 3,20 m, pour un entraxe de cloisonnement de 20,3 m et une surface cloisonnée de **16 %**.

Circulation des engins

16 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Châtillon		16%			

Perturbations du sol

18 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
54 %	29 %	18 %	0 %

Cela correspond à **3 %** de la surface totale du chantier. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Châtillon		3 %			

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

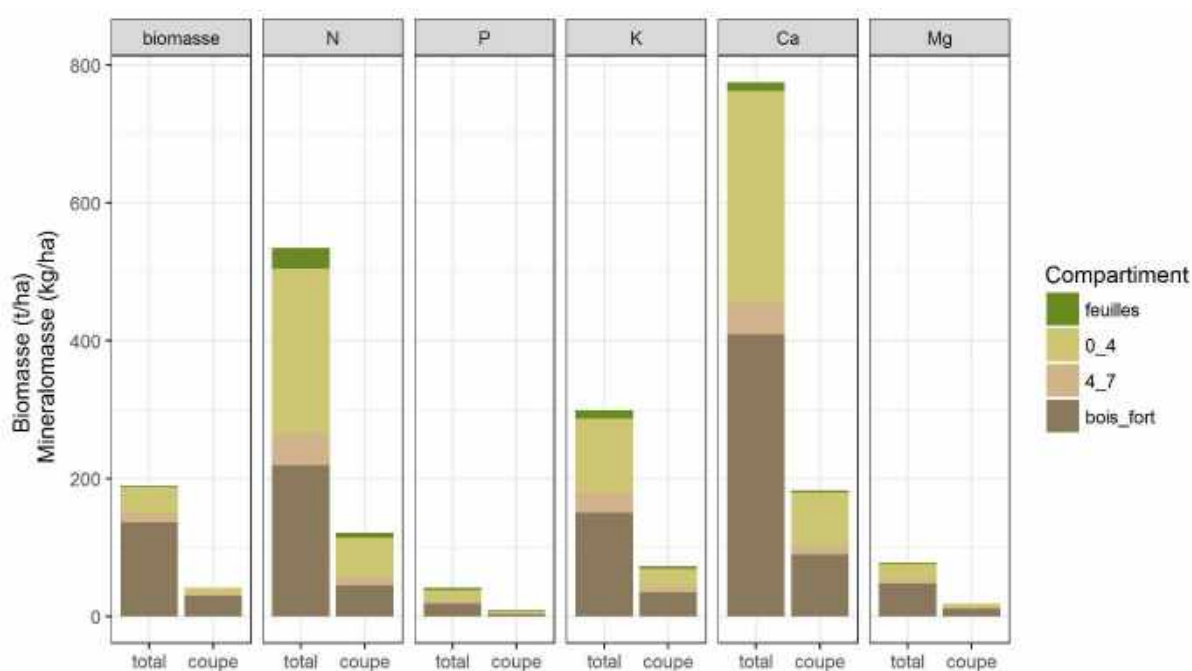
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 57 % et 72 %	Entre 23 % et 28 %

Le chantier de Chatillon se trouvant sur une zone de sensibilité modérée à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 30 % des menus bois sur la parcelle d'après les recommandations Gerboise. Cet objectif est ici atteint.

2. Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	189	535	42	300	775	79
Après	147	413	32	227	592	60
BILAN exporté	42	122	10	73	183	19
% exportations	22 %	23 %	23 %	24 %	24 %	24 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux de ces menus bois, on peut dire qu'environ moins d'un quart des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

Fiche synthétique

Chantier de Compiègne (60)

A. Description générale du site

1. Données administratives

Région	Centre Val de Loire
Département	Oise
Commune	Compiègne

Propriétaire	Etat
Gestionnaire	ONF

2. Données peuplement et station

Type de peuplement	Futaie de hêtre avec grande variabilité des diamètres
Age si futaie régulière ou taillis	
Essences	Hêtre (68,3 %tiges) Charme (23 %tiges) Noisetier (6,3 %tiges) Erable Champêtre (1,2 %tiges) Saule (1,2 %tiges)
Hauteur moyenne totale	14,22m (14,06m pour le hêtre seul)
Hauteur moyenne de décrochement	6,06m (5,93m pour le hêtre seul)
penne	Nulle

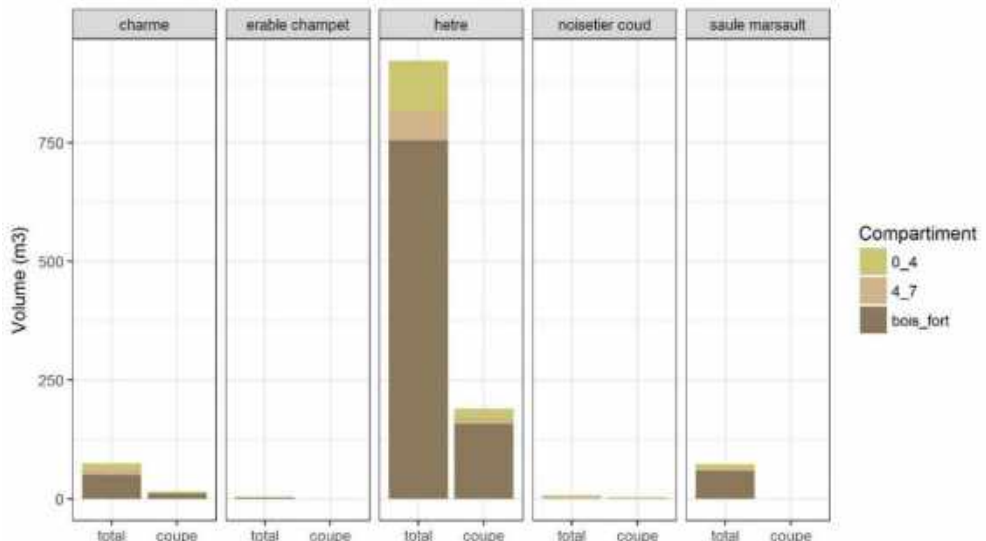
Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Oligomull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Equilibré
Hydromorphie à 25cm	Oui
Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Sensibilité des sols d'après guide ADEME 2006	Moyenne
Sensibilité des sols d'après INSENSE	Forte
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 2,92858 °E – 49,39037 °N

B. Caractéristiques du chantier

Données chantier

Type d'intervention	2 ^{ème} Eclaircie
Essences récoltées	Hêtre, Charme, Erable Champêtre, Noisetier, Saule
Abattage	hors feuilles
Surface du chantier	4 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : 2 pelles cisailles – période : janvier / 2017 (hors feuilles) – durée : 3 jours
	Débardage : porteur 6F – période : février-mars / 2017 (hors feuilles) – durée : 15 jours en 2 tranches
Temps de ressuyage sur parcelle	2 ou 6 semaines (du 15/01 au 01/02, puis jusqu'au 06/03 pour la deuxième tranche de débardage)
Intensité de prélèvement	24 % de la biomasse sur pieds
Volume prélevé <u>calculé</u>	169 m ³ prélevés sur 868 m ³ au total, majoritairement dans le hêtre. 42 m ³ /ha
	
Tonnage entrée usine*	334,58 tonnes brutes pour tout le chantier 83,65 tonnes brutes / ha
%Humidité moyenne des bois entrée usine*	37,6 %

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 5,30 m, pour un entraxe de cloisonnement de 19,9 m et une surface cloisonnée de **27 %**.

Circulation des engins

17 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Compiègne		17 %			

Perturbations du sol

57 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
0 %	43 %	57 %	0 %

Cela correspond à **10 %** de la surface totale du chantier. C'est donc un chantier **médiocre** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Compiègne				10 %	

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

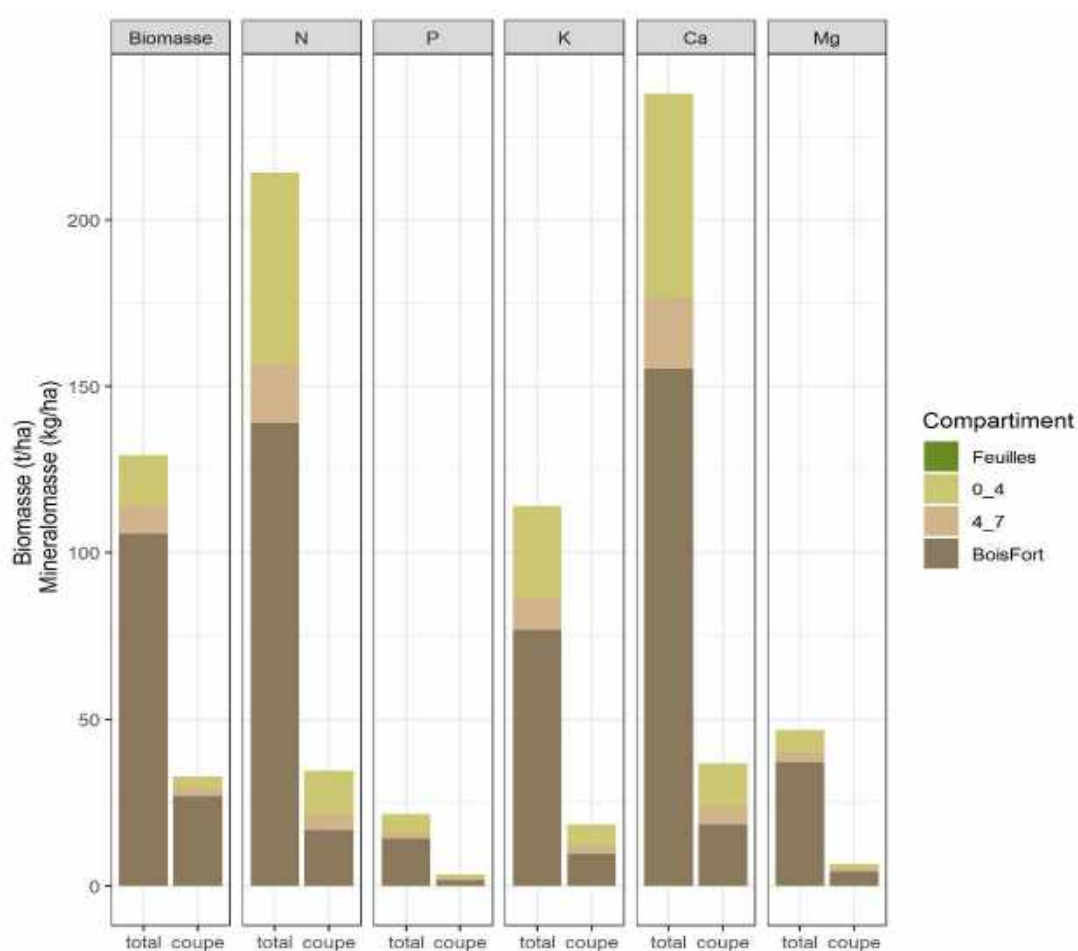
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 0 % et 37 %	Entre 0 % et 11 %

Le chantier de Compiègne se trouvant sur une zone de sensibilité forte à l'exportation minérale, il est déconseillé de récolter les menus bois sur la parcelle d'après le Guide de bonnes pratiques de récolte des rémanents. Cet objectif est ici en partie atteint, principalement pour les bois de diamètre 4-7cm.

Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	130	214	22	114	238	47
Après	97	180	18	96	201	40
BILAN exporté	33	35	3	18	37	7
% exportations	25 %	16 %	16 %	16 %	15 %	14 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que moins d'un cinquième des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

Fiche synthétique

Chantier de Corribert (51)

A. Description générale du site

1. Données administratives

Région	Grand Est
Département	Marne

Commune	Corribert
Propriétaire	Particulier

2. Données peuplement et station

Type de peuplement	Mélange taillis-futaie
Age du taillis	30 ans
Essences	Noisetier (87 %tiges) Charme (6 %tiges) Erable (2,5 %tiges) Frêne (1,5 %tiges) Tremble (1,5 %tiges) Merisier (1 %tiges) Chêne (0,5 %tiges)
Hauteur moyenne totale	20,93m
Hauteur moyenne de décrochement	11,51m
penne	Nulle

Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Eumull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Limoneuse
Hydromorphie à 25cm	Non
Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Sensibilité des sols d'après INSENSE	Moyenne
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 3,759284°E – 48,924131°N

B. Caractéristiques du chantier

Données chantier

Type d'intervention	Coupe rase du taillis et de la futaie. Les grumes de futaie ont été exploitées en sciage, les houppiers et les taillis en BE
Essences récoltées	Noisetier, Chêne, Erable, Charme, Frêne, Merisier, Tremble
Abattage	hors feuilles
Surface du chantier	6,6 ha
Produit récolté	Arbre entier taillis + houppiers futaie (chênes et frênes)
Opérations de récoltes	Abattage : cisaille + bûcheronnage manuel – période : décembre 2017 - janvier 2018 (hors feuilles) – durée : 4 jours de cisaille (33h) et 8 jours de bûcheronnage manuel (70h)
	Débardage : porteur – période : juin 2018 (en feuilles) – durée : 19 jours (170h)
Temps de ressuyage sur parcelle	5 mois
Intensité de prélèvement	80 % de la biomasse sur pieds
Volume prélevé calculé	3 003 m ³ de bois fort prélevé sur 6 955 m ³ au total, soit 43 % du volume bois fort sur pieds. ⇒ 455 m ³ /ha prélevés
Tonnage entrée usine*	1 781,80 tonnes brutes pour tout le chantier 270 tonnes brutes / ha + 350 m ³ de grumes chênes et frênes confondus
Humidité moyenne des bois entrée usine*	33,6 %

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Surfaces circulées

Circulation des engins

89 % de la surface de la parcelle a été circulée. Si l'on s'en réfère à l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr), ce chantier est considéré « **mauvais** » en termes de performances environnementales.

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Corribert					89 %

Perturbations du sol

34 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
53 %	13 %	5 %	29 %

Cela correspond à **30 %** de la surface totale du chantier, et de même c'est un « **mauvais** » classement d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Corribert					30 %

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (<7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

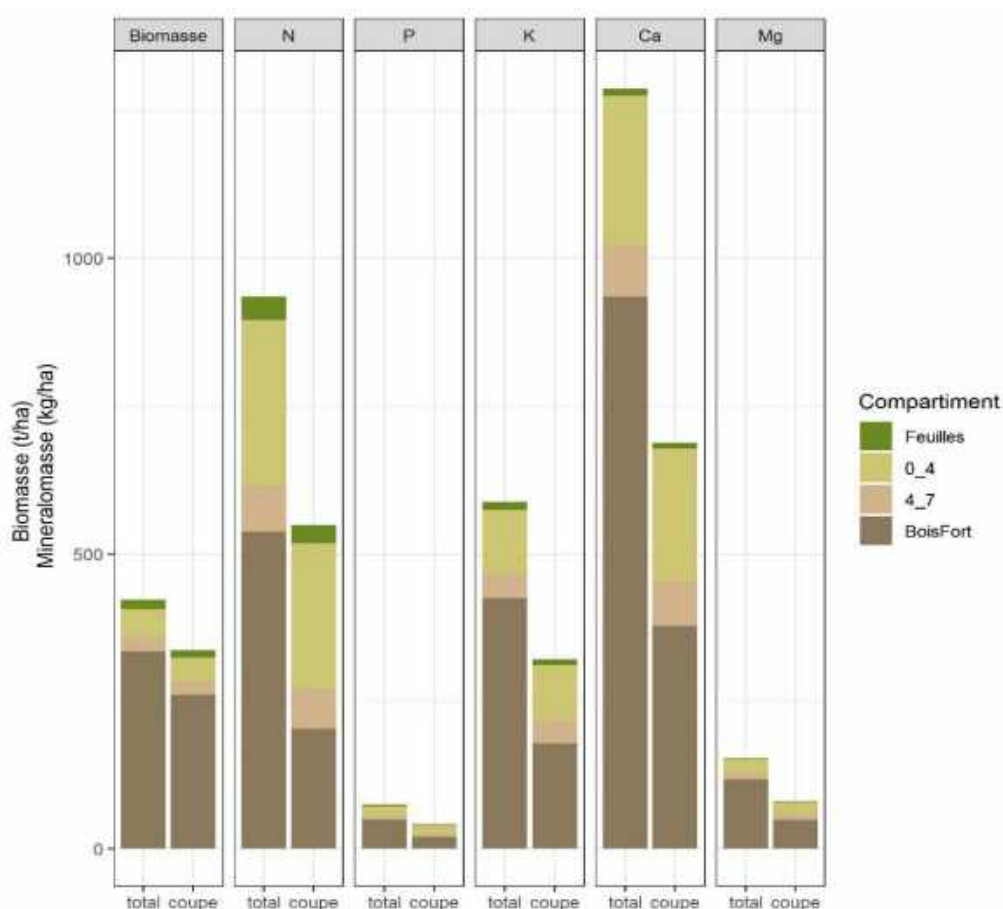
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 19 % et 22 %	Entre 27 et 29 %

Le chantier de Corribert se trouvant sur une zone de sensibilité modérée à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 30 % des menus bois sur la parcelle d'après les recommandations Gerboise. Cet objectif est ici pratiquement atteint pour les diamètres moyens, mais pas pour les petits diamètres.

Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessous ne prennent pas en compte les volumes de bois morts qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	422	936	74	588	1288	153
Après	86	386	33	267	601	73
BILAN exporté	337	549	42	321	687	80
% exportations	80 %	59 %	56 %	55 %	53 %	52 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que presque 80 % des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Ce chantier de coupe rase avec objectif de replantation de Douglas a été retardé pour le débardage dû aux saisons d'automne, hiver et printemps très humides en 2017-2018, le bois est donc resté longtemps sur la parcelle pour cette raison.

Fiche synthétique

Chantier de Ecquevilly (78)

A. Description générale du site

Données administratives

Région	Ile de France
Département	Yvelines
Commune	Ecquevilly

Propriétaire	Groupement forestier
Gestionnaire	Coforouest (AFB)

Données peuplement et station

Type de peuplement	Mélange futaie de chênes et taillis de châtaigniers
Age si futaie régulière ou taillis	Environ 80 à 120 ans (selon le gestionnaire)
Essences	Châtaignier (96,5 %tiges) Noisetier (3 %tiges) Chêne (0,5 %tiges)
Hauteur moyenne totale	15,72m
Hauteur moyenne de décrochement	8,81m
penne	Nulle

Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Mesomull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Limoneuse
Hydromorphie à 25cm	Oui
Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Sensibilité des sols d'après guide ADEME 2006	Faible
Sensibilité des sols d'après INSENSE	Moyenne
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 1,9146 °E – 48,93961 °N

B. Caractéristiques du chantier

Données chantier

Type d'intervention	Relevé de couvert
Essences récoltées	Châtaignier
Abattage	hors feuilles
Surface du chantier	1,25 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : bûcheronnage manuel, 3 binômes – période : février / 2017 (hors feuilles) – durée : 1 jour
	Débardage : porteur timberjack 1110 C – période : juin / 2017 (en feuilles) – durée : 2 jours
Temps de ressuyage sur parcelle	4 mois environ
Intensité de prélèvement	16 % de la biomasse sur pieds
Volume prélevé calculé	101 m ³ prélevés sur 676 m ³ au total, uniquement dans le châtaignier 91 m ³ /ha
Tonnage entrée usine	Les informations seront complétées prochainement
Humidité moyenne des bois entrée usine*	Les informations seront complétées prochainement

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

Surfaces circulées

Circulation des engins

28 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un chantier **moyen** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Ecquevilly			28 %		

Perturbations du sol

14 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
76 %	10 %	10 %	4 %

Cela correspond à 4% de la surface totale du chantier. C'est donc un chantier **moyen** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Ecquevilly			4 %		

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (<7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

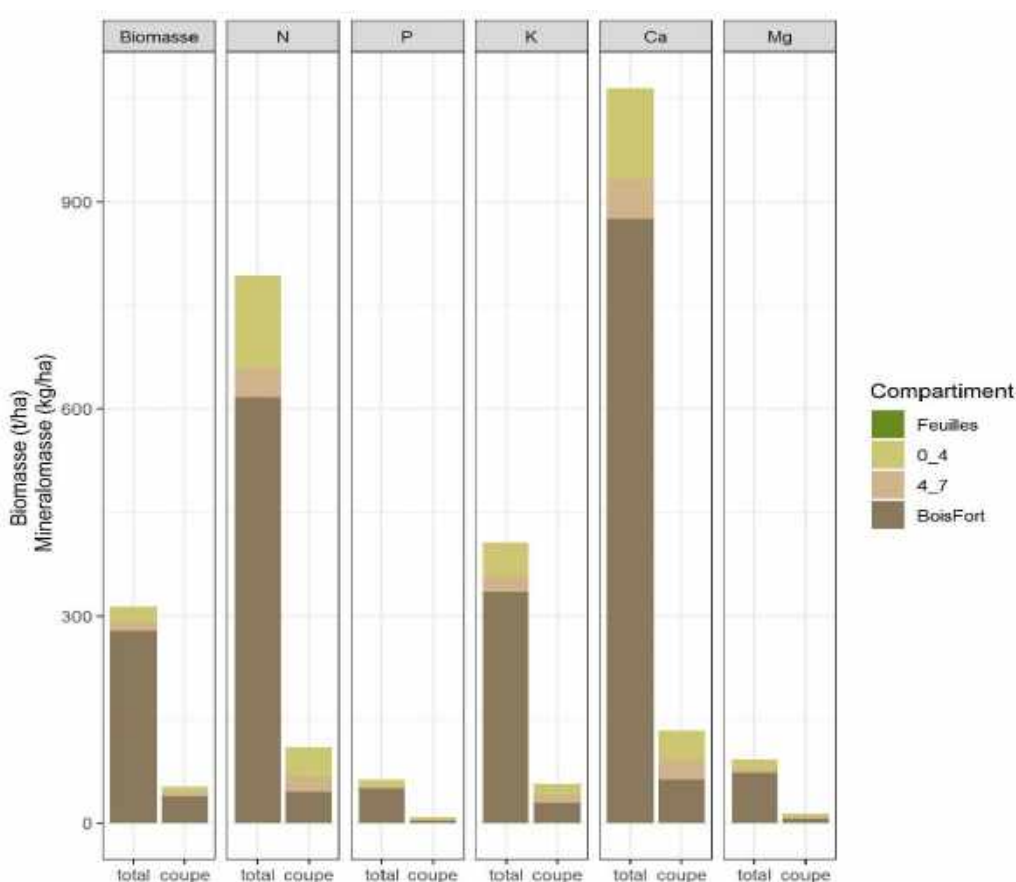
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 35 % et 44 %	-

Le chantier d'Ecquevilly se trouvant sur une zone de sensibilité modérée à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 30 % des menus bois sur la parcelle d'après le Guide de bonnes pratiques de récolte des rémanents. Cet objectif est ici atteint pour les petits diamètres 0-4cm. Les données 4-7cm ne sont pas exploitables.

2. Biomasse et minéralomasse fraîches

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	313	793	62	406	1065	92
Après	261	684	54	350	931	79
BILAN exporté	52	110	8	56	134	13
% exportations	17 %	14 %	13 %	14 %	13 %	14 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que moins d'un cinquième des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Le chantier d'Ecquevilly a été récolté en partie par bûcheronnage manuel et en partie par bûcheronnage mécanisé dans le cadre d'un autre suivi scientifique sur le chantier. Les mesures ont été réalisées sur la zone exploitée manuellement uniquement.

Fiche synthétique

Chantier de Gault (51)

A. Description générale du site

1. Données administratives

Région	Grand-Est
Département	Marne

Commune	Le Gault-Soigny
Propriétaire	Etat

2. Données peuplement et station

Type de peuplement	Mélange futaie taillis : plantation de chênes et sous étage de feuillus divers
Age si futaie régulière ou taillis	Plantation de 20 ans d'après le gestionnaire
Essences	Charme (67 %tiges) Chêne (24 %tiges) Frêne (4 %tiges) Bouleau (2 %tiges) Hêtre (0,3 %tiges) Merisier (0,7 %tiges) Tremble (2 %tiges)
Hauteur moyenne totale	13,8 m (12,5 pour le charme)
Hauteur moyenne de décrochement	6,7 m (6,6 pour le charme)
penne	Nulle

Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Oligomull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Equilibré
Hydromorphie à 25cm	Présence discontinue
Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Sensibilité des sols d'après INSENSE	forte
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



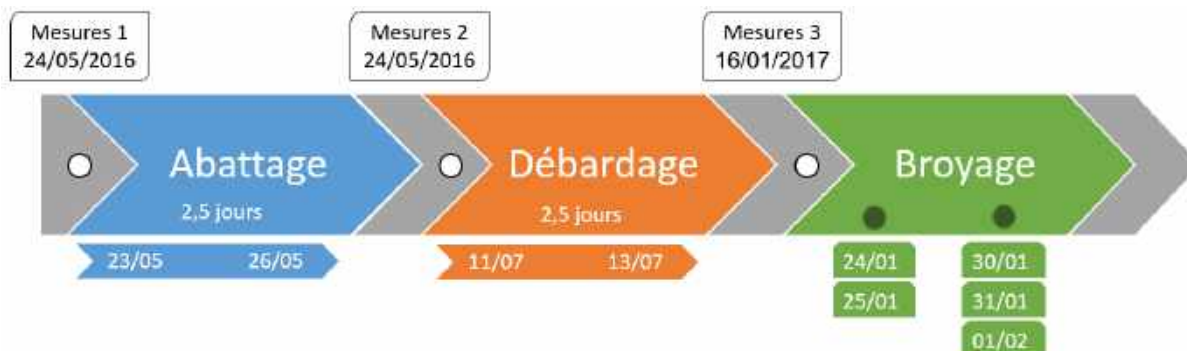
Carte de Localisation du chantier

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Ouverture de cloisonnements + éclaircie sélective
Essences récoltées	Chênes dans les cloisonnements et éclaircie de charme, bouleau, frêne, hêtre, merisier, tremble en sous-étage
Abattage	En feuille
Surface du chantier	9,58 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : pelle (timberpro) + feller-buncher – période : avril - mai / 2016 (en feuilles) – durée : 2,5 jours
	Débardage : porteur (john deere) – période : juillet / 2017 (en feuilles) – durée : 2,5 jours
Temps de ressuyage sur parcelle	6 semaines environ
Intensité de prélèvement	41 % de la de la surface a été exploitée en ouverture de cloisonnements
Volume prélevé <u>calculé</u>	369 m ³ de bois fort prélevés sur 900 m ³ au total, 38 m ³ /ha prélevés
Tonnage entrée usine	307 tonnes sèches pour le chantier ⇒ 32 Tonnes sèches/ha
Humidité moyenne des bois entrée usine*	40,57

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ouverts ont une largeur moyenne de 4,50 m, pour un entraxe de cloisonnement de 11,2 m et une surface cloisonnée de **41 %**.

Circulation des engins

28% de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un chantier **moyen** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Gault			28 %		

Perturbations du sol

Les mesures d'impact au sol n'ont pas pu être réalisées sur ce chantier.

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (<7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

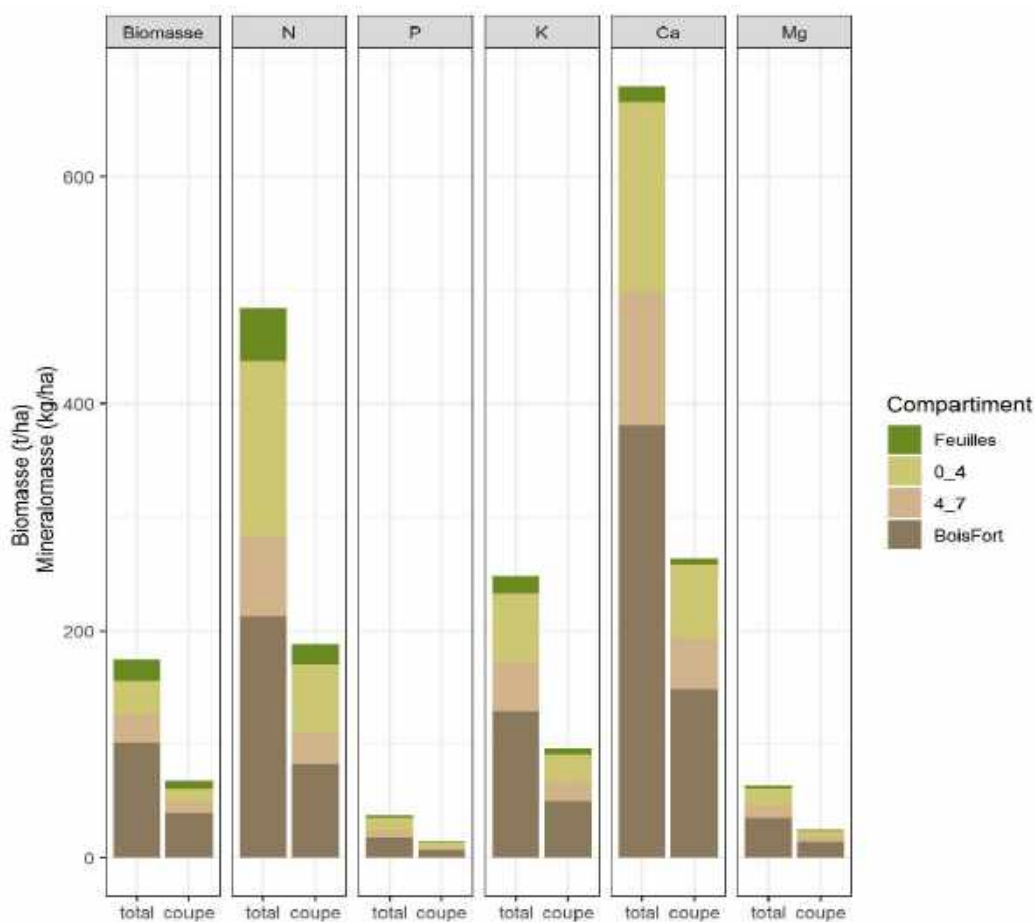
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 13 % et 19 %	Entre 35 % et 40 %

Le chantier de Gault se trouvant sur une zone de sensibilité forte à l'exportation minérale, il est déconseillé de récolter les menus bois dans leur ensemble d'après les recommandations Gerboises. Cet objectif n'est ici pas atteint.

2. Biomasse et minéralomasse fraîches

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	175	484	37	248	679	64
Après	107	296	23	152	415	39
BILAN exporté	68	188	15	96	264	25
% exportations	39 %	39 %	39 %	39 %	39 %	39 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que environ ma moitié des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Gault a été le premier chantier sur lequel le protocole a été mis en œuvre. Celui-ci ayant ensuite évolué, toutes les informations ne sont pas disponibles pour ce chantier.

Fiche synthétique

Chantier de Neuville-en-Argonne (55)

A. Description générale du site

Données administratives

Région	Grand Est	Commune	Neuville-en-Argonne
Département	Meuse	Propriétaire	Particulier

Données peuplement et station

Type de peuplement	mélange futaie taillis	Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Eumull
Age du taillis	40 ans	Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	argileux
Essences	Noisetier (30% tiges)	Hydromorphie à 25cm	Oui
	Frêne (26% tiges)	Réaction à Hcl avant 25cm	absence
	Charme (12% tiges)	Sensibilité des sols d'après INSENSE	Faible
	Bouleau (9% tiges)	Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année
	Tremble (9% tiges)		
	Chêne (7% tiges)		
	Erable (4% tiges) Peuplier (3% tiges)		
Hauteur moyenne totale	17,6 m (8,35 pour le noisetier et 19,2 pour le frêne)		
Hauteur moyenne de décrochement	9,7 m (6,1 pour le noisetier et 13,9 pour le frêne)		
penne	légère		



Carte de Localisation du chantier

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Ouverture de cloisonnements
Essences récoltées	Noisetier, Frêne, Charme, Bouleau, Tremble, Chêne, Erable, Peuplier
Abattage	hors feuilles
Surface du chantier	7 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : cisaille à chenilles – période : décembre / 2017 (hors feuilles) – durée : 6 à 10 jours (<i>durée précise non connue</i>)
	Débardage : porteur simple – période : juillet / 2018 (en feuilles/hors feuilles) – durée : 6 jours
Temps de ressuyage sur parcelle	7 mois
Intensité de prélèvement	28 % de la surface a été abattue en ouverture de cloisonnements
Volume prélevé <u>calculé</u>	121 m ³ de bois fort prélevés sur 1 296 m ³ au total, soit % du volume bois fort sur pieds 17 m ³ /ha prélevés
Tonnage entrée usine*	<i>Les données de tonnages entrée usine n'ont pas encore été récupérées auprès du donneur d'ordre</i>
Humidité moyenne des bois entrée usine*	<i>Les données de tonnages entrée usine n'ont pas encore été récupérées auprès du donneur d'ordre</i>

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain
(MaJ novembre 2018)

2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 4,6 m, pour un entraxe de cloisonnement de 17,1 m et une surface cloisonnée de **27 %**.

Circulation des engins

24 % de la surface de la parcelle a été circulée, à 73 % sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Neuvilly-En-Argonne		24 %			

Perturbations du sol

6 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
75 %	19 %	6 %	0 %

Cela correspond à **1%** de la surface totale du chantier. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Neuvilly-En-Argonne		1%			

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

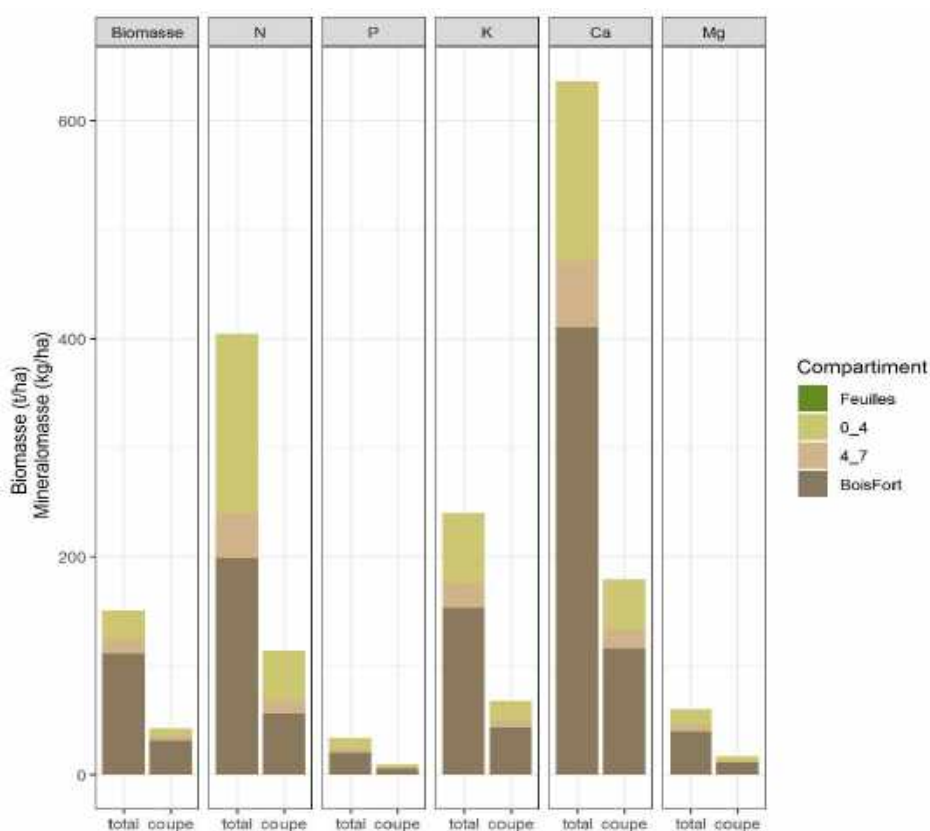
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissé au sol	Entre 70 % et 100 %	Entre 32 % et 50 %

Le chantier de Neuvilly se trouvant sur une zone de sensibilité faible à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 10 % des menus bois sur la parcelle d'après les recommandations Gerboise. Cet objectif est ici largement atteint.

2. Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	151	404	34	240	636	60
Après	108	290	24	172	457	43
BILAN exporté	42	114	9	68	179	17
% exportations	28 %	28 %	28 %	28 %	28 %	28 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux de ces menus bois, on peut dire qu'environ un quart des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

Fiche synthétique

Chantier de Reuilly-Sauvigny (02)

A. Description générale du site

Données administratives

Région	Haut de France	Commune	Reuilly-Sauvigny
Département	Aisne	Propriétaire	Particulier

Données peuplement et station

Type de peuplement	Mélange futaie de frênes et taillis de bois blancs divers	Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Eumull
Age si futaie régulière ou taillis	15 à 20 ans selon le gestionnaire	Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Limoneux
Essences	Noisetier (69 %tiges) Aulne (12,6 %tiges) Tremble (7,6 %tiges) Charme (4 %tiges) Bouleau (4,0 %tiges) Frêne (2,1 %tiges) Chêne (0,7 %tiges)	Hydromorphie à 25cm	Oui
Hauteur moyenne totale	17,89m (22,96m pour le la futaie de frênes)	Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Hauteur moyenne de décrochement	9,52m (12,31 pour la futaie de frênes)	Sensibilité des sols d'après INSENSE	Moyenne
penne	Nulle (plateau)	Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



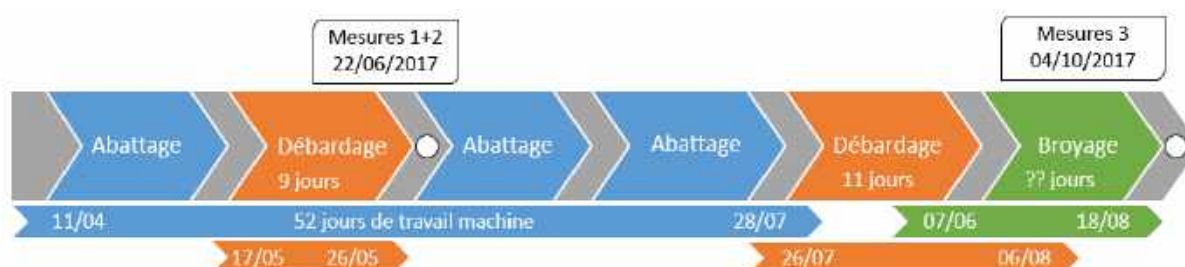
Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 3,578015°E – 49,04207°N

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Ouverture cloisonnement + éclaircie sélective (cloisonnements tous les 23m, soit une exploitation assimilée coupe rase sur 18 % de la surface)
Essences récoltées	Chêne, Charme, Aulne, Frêne, Bouleau, Tremble, Noisetier
Abattage	En feuille
Surface du chantier	14,5 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : pelle cisaille légère – période : avril-juin / 2017 (en feuilles/hors feuilles) – durée : 52 jours de travail machine
	Débardage : porteur – période : mai-juillet / 2017 (en feuilles/hors feuilles) – durée : 20 jours de travail machine
Temps de ressuyage sur parcelle	2 semaines à 4 mois, très variable selon la position des billons façonnés sur la parcelle
Intensité de prélèvement	18 % de la surface a été abattue en ouverture de cloisonnement
Volume prélevé <u>calculé</u>	429 m ³ prélevés sur 2 382 m ³ au total, indifféremment dans toutes les essences du taillis pour l'ouverture des cloisonnements. Quelques frênes ont été prélevés en plus. 30 m ³ /ha
Tonnage entrée usine	846 tonnes brutes 58.34 TB/ha
Humidité moyenne des bois entrée usine *	42 %

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 4,40 m, pour un entraxe de cloisonnement de 23,9 m et une surface cloisonnée de **18 %**.

Circulation des engins

16 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Reuilly-Sauvigny		16 %			

Perturbations du sol

10 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
49 %	41 %	10 %	0 %

Cela correspond à **2%** de la surface totale du chantier. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Reuilly-Sauvigny		2 %			

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

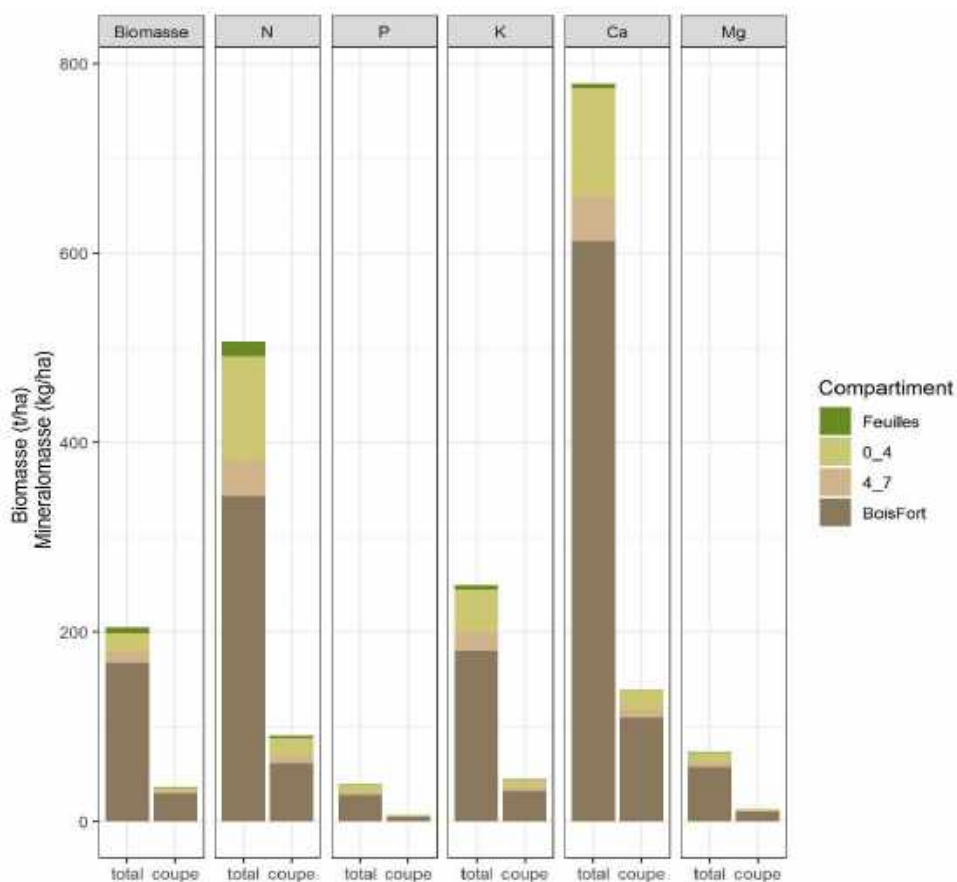
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de bois mort laissé au sol	Entre 11 % et 30 %	Entre 3 % et 5 %

Le chantier de Reuilly-Sauvigny se trouvant sur une zone de sensibilité modérée à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 30% des menus bois sur la parcelle d'après les recommandations Gerboises. Cet objectif n'est ici pas atteint, notamment pour les bois de diamètre 4-7cm.

2. Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	205	506	39	250	778	74
Après	168	416	32	205	639	60
BILAN exporté	37	91	7	45	139	13
% exportations	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que moins d'un cinquième des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Le débardage de ce chantier s'est réalisé sur 2 périodes, le temps de ressuyage estimé peut donc varier en fonction de la localisation des billons sur le chantier.

Le chantier Reuilly-Sauvigny est une ouverture de cloisonnement, dans ce cas de figure l'exportation de biomasse et de mineralomasse a été calculée en mesurant les surfaces exploitées en cloisonnement.

Fiche synthétique

Chantier de Saint Pierre de Côte (24)

A. Description générale du site

1. Données administratives

Région	Nouvelle Aquitaine
Département	Dordogne
Commune	Saint Pierre de Côte

Propriétaire	Particulier
Gestionnaire	Alliance Forêt Bois

2. Données peuplement et station

Type de peuplement	Taillis simple
Age si futaie régulière ou taillis	inconnu
Essences	Châtaignier (82,3 %tiges) Noisetier (17,6 %tiges) Pin maritime (0,1 %tiges)
Hauteur moyenne totale	14,97m
Hauteur moyenne de décrochement	8,54m
penne	20 – 40 %

Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Oligomull
Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Equilibré
Hydromorphie à 25cm	Oui
Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Sensibilité des sols d'après guide ADEME 2006	Moyenne
Sensibilité des sols d'après INSENSE	Forte
Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol très sensible et impraticable une partie de l'année



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 0,80546°E – 45,40788°N

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Coupe rase du taillis
Essences récoltées	Châtaigniers, Noisetiers, Pin maritime
Abattage	en feuille
Surface du chantier	Parcelle de 3 ha Chantier de 6 ha au total
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : feller-buncher – période : juin / 2017 (en feuilles)
	Débardage : porteur – période : août / 2017 (en feuilles)
Temps de ressuyage sur parcelle	2 à 3 mois
Intensité de prélèvement	99 % du volume sur pieds ⇒ 100 % du taillis de châtaigniers et noisetiers ⇒ 99 % des pins maritimes
Volume prélevé calculé	1 849 m ³ prélevés sur 1 698 m ³ au total 308 m ³ /ha
Tonnage entrée usine	1 828 tonnes brutes pour tout le chantier (au 22/08/2018, il reste encore du bois bord de route) 60 tonnes brutes / ha
Humidité moyenne des bois entrée usine*	35,55 % (au 22/08/2018, il reste encore du bois bord de route)

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Cette parcelle n'est pas cloisonnée.

Circulation des engins

43 % de la surface de la parcelle a été circulée. C'est donc un **mauvais** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Saint-Pierre de Côte					43 %

Perturbations du sol

5 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
92 %	3 %	5 %	0 %

Cela correspond à **2 %** de la surface totale du chantier. C'est donc un **bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Saint Pierre de Côte		2 %			

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 19 % et 22 %	Entre 9 % et 10 %

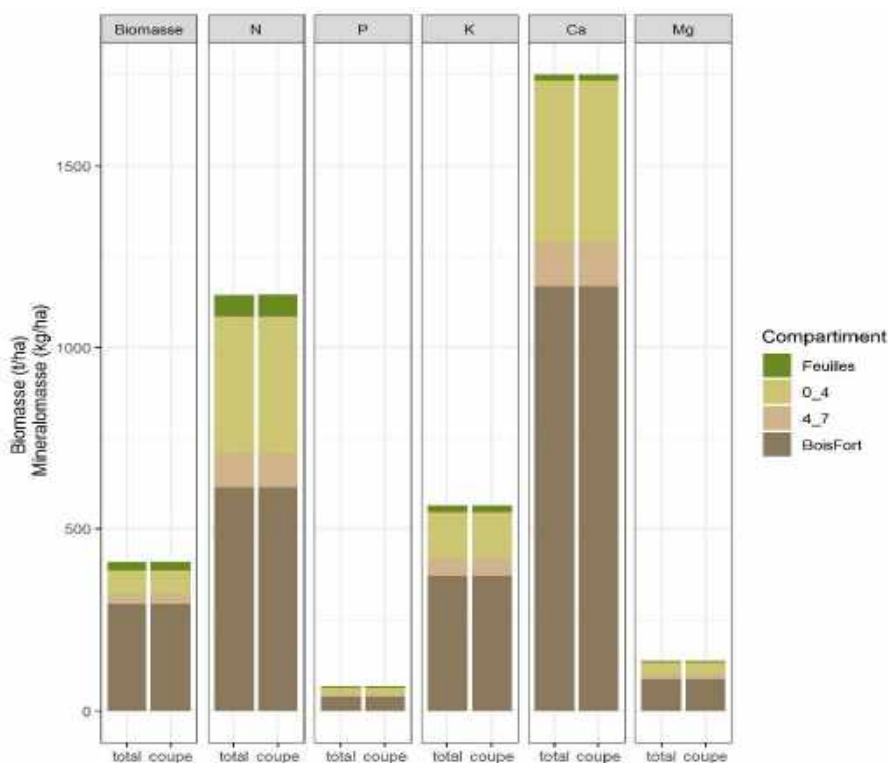
Le chantier de Saint-Pierre-de-Côte se trouvant sur une zone de sensibilité forte à l'exportation minérale, il est déconseillé de récolter les menus bois sur la parcelle d'après le Guide de bonnes pratiques de récolte des rémanents. Cet objectif n'est ici pas atteint.

Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	409	1145	68	567	1752	137
Après	0	0	0	0	0	0
BILAN exporté	410	1145	68	567	1752	137
% exportations	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Des tiges de pin maritimes n'ont pas été coupées et leur nombre est sous-évalué dans l'analyse.



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que presque tous les minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Le chantier de Saint-Pierre-de-Côle est une coupe rase du taillis de châtaigniers et noisetiers, et présentait des pins maritimes en faible densité qui n'ont pas été exploités. Ceux-ci n'ont pas été exactement quantifiés et présentent une biomasse non exportée qui n'a pas été prise en compte dans le calcul.

De plus, le protocole de mesure de l'exportation des menus bois a présenté des aléas (difficulté à retourner exactement sur la même placette de mesure avant et après exploitation), ce qui vient nuancer les résultats obtenus.

Fiche synthétique

Chantier de Taradeau (83)

A. Description générale du site

Données administratives

Région	Provence Alpes Côte d'Azur	Propriétaire	Particulier
Département	Var	Gestionnaire	Expert Forestier (Nicolas Luigi)
Commune	Taradeau		

Données peuplement et station

Type de peuplement	Taillis : accru naturel de pin avec taillis de chênes	Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Mesomull
Age si futaie régulière ou taillis	30 ans (fourni par le gestionnaire)	Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Equilibrée
Essences	Pin d'Alep (19,5 %tiges) Pin Maritime (0,6 %tiges) Chêne Vert (30,4 %tiges) Chêne Pubescent (46,7 %tiges) Cade (2,8 %tiges)	Hydromorphie à 25cm	Oui
Hauteur moyenne totale	11,16m (9,30m pour les chênes pubescents)	Réaction à Hcl avant 25cm	Effervescence
Hauteur moyenne de décrochement	inconnues	Sensibilité des sols d'après guide ADEME 2006	faible
pente	Nulle	Sensibilité des sols d'après INSENSE	moyenne
		Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol praticable toute l'année moyennant certaines précautions



Carte de Localisation du chantier
Coordonnées GPS (WGS 84) : 6,43090°E – 43,49394°N

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Ouverture de cloisonnements (cloisonnements tous les 31m, soit une exploitation assimilée coupe rase sur 13 % de la surface)
Essences récoltées	Pin d'Alep - chêne vert - chêne pubescent - cade
Abattage	hors feuilles
Surface du chantier	Zone étudiée : 8,2 ha (zone H). Surface totale du chantier : 33 ha
Produit récolté	Pins en arbre entier. Chênes façonnés et mis en ballot pour le bois de chauffage.
Opérations de récoltes	Abattage : Pelle Hyundai Robex 145LCR-9 + tête à disque Woodcracker C350. le bois de chauffage est façonné en bucheronnage manuel puis mis en ballot. – période : février / 2017 (hors feuilles)
	Débardage : porteur timberjack 1110C. – période : février-mars / 2017 (hors feuilles)
Temps de ressuyage sur parcelle	Quelques jours à 1 mois
Intensité de prélèvement	13 % du volume sur pieds, correspondant à une coupe rase sur les ouvertures de cloisonnement
Volume prélevé <u>calculé</u>	204 m ³ de bois fort prélevés sur 1 689 m ³ au total, soit 17 % du volume bois fort sur pieds, prélevés majoritairement dans le charme 26 m ³ /ha
Tonnage entrée usine	373 tonnes brutes pour tout le chantier 45,49 tonnes brutes / ha
Humidité moyenne des bois entrée usine*	37,5 %

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 3,90 m, pour un entraxe de cloisonnement de 30,8 m et une surface cloisonnée de **13** %.

Circulation des engins

11 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un **très bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Taradeau	11 %				

Perturbations du sol

4 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
70 %	26 %	4 %	0 %

Cela correspond à **0** % de la surface totale du chantier. C'est donc un **très bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Taradeau	0%				

L'exploitation s'est réalisée par temps sec, sur un sol très caillouteux et donc portant.

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

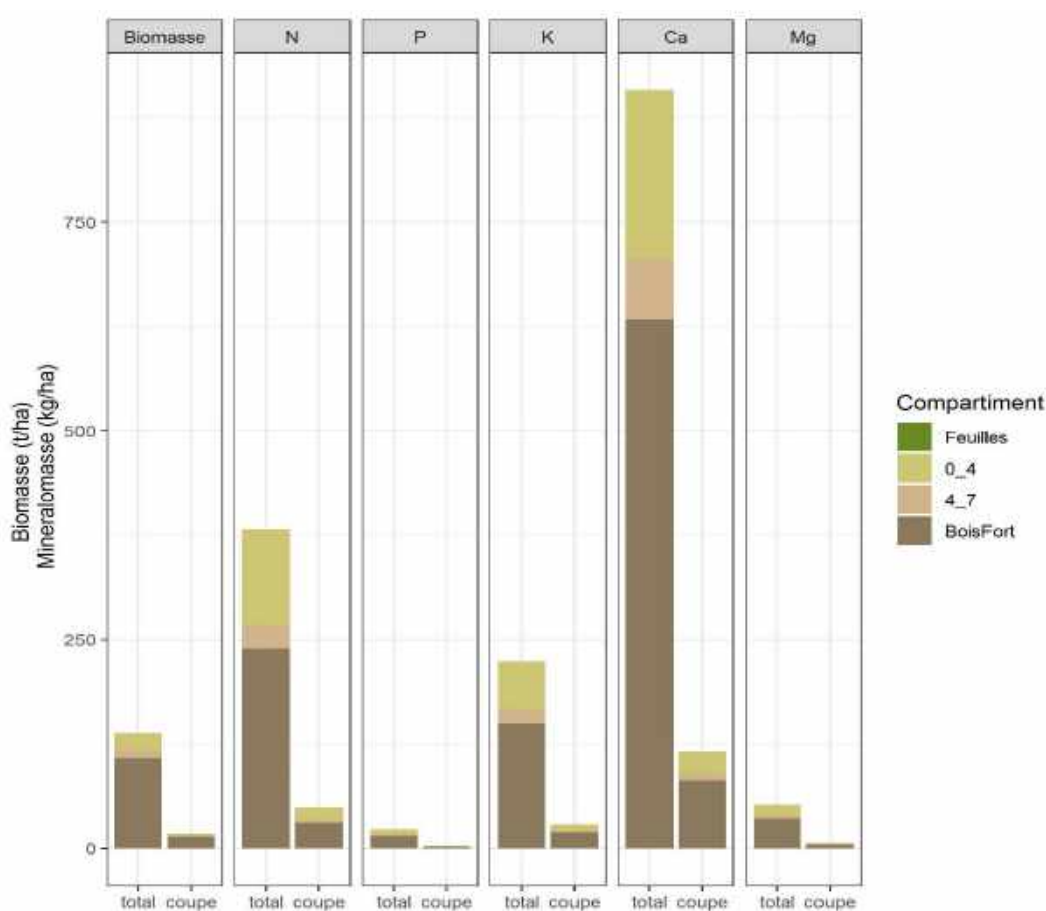
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de menus bois laissés au sol	Entre 0 % et 45 %	0 %

Le chantier de Taradeau se trouvant sur une zone de sensibilité modérée à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 30 % des menus bois sur la parcelle d'après les recommandations Gerboise. Cet objectif n'est ici pas atteint pour les petits diamètres 0-4cm. Les données 4-7cm ne sont pas exploitables.

2. Biomasse et minéralomasse fraîches

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	138	382	23	223	908	52
Après	120	333	20	195	792	45
BILAN exporté	18	49	3	28	116	7
% exportations	13 %	13 %	13 %	13 %	13 %	13 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux de ces menus bois, on peut dire que moins d'un quart des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Le chantier dans sa totalité présentait une surface de plus de 33ha, mais la surface étudiée a été limitée à 8ha. L'exploitation a été réalisée en 2 campagnes sur 2 ans, en respectant les anciens cloisonnements.

Fiche synthétique

Chantier de Vert-Toulon (51)

A. Description générale du site

1. Données administratives

Région	Grand-Est	Commune	Vert-Toulon
Département	Marne	Propriétaire	Particulier

2. Données peuplement et station

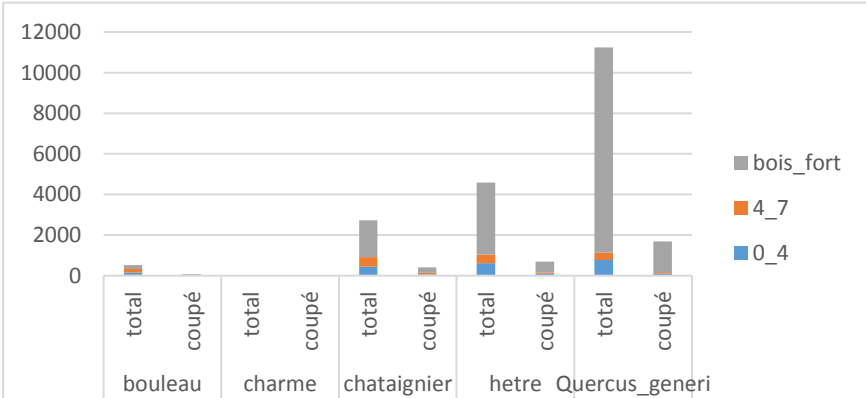
Type de peuplement	Mélange futaie de chêne et taillis de hêtre et châtaigniers	Type d'humus (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Mesomull
Age si futaie régulière ou taillis	inconnu	Texture à 10cm (Projet INSENSE - REACTIF, Ademe, Durante et al octobre 2017)	Argileux
Essences	Hêtre (45,5 %tiges) Châtaignier (41,2 %tiges) Chêne (7,0 %tiges) Bouleau (5,8 %tiges) Charme (0,4 %tiges)	Hydromorphie à 25cm	Oui
Hauteur moyenne totale	13,73m (18,90m pour la futaie de chêne)	Réaction à Hcl avant 25cm	Absence
Hauteur moyenne de décrochement	6,64m (10,83m pour la futaie de chêne)	Sensibilité des sols d'après INSENSE	Faible
penne	Nulle	Sensibilité potentielle au tassement d'après PROSOL	Sol praticable toute l'année moyennant certaines précautions



Carte de Localisation du chantier
 Coordonnées GPS (WGS 84) : 3,8881614°E – 48,8559993°N

B. Caractéristiques du chantier

1. Données chantier

Type d'intervention	Ouverture de cloisonnements (cloisonnements tous les 25m, soit une exploitation assimilée coupe rase sur 15 % de la surface)
Essences récoltées	Chêne, Hêtre, Charme, Châtaignier, Bouleau
Abattage	en feuille
Surface du chantier	60 ha
Produit récolté	Arbre entier
Opérations de récoltes	Abattage : pelle + cisaille – période : mars-avril / 2017 (en feuilles) – durée : 22 jours
	Débardage : porteur – période : août / 2017 (en feuilles) – durée : environ 20 jours (<i>pause indéterminée dans le débardage</i>)
Temps de ressuyage sur parcelle	Environ 3 mois et demi
Intensité de prélèvement	15 % de la surface a été abattue en ouverture de cloisonnement
Volume prélevé <u>calculé</u>	2 349 m ³ prélevés sur 15 661 m ³ au total, indifféremment dans toutes les essences du taillis pour l'ouverture des cloisonnements. 39 m ³ /ha 
Tonnage entrée usine	1 395,61 tonnes brutes pour tout le chantier (au 13/04/2018, reste encore l'équivalent de 4 camions bord de route) 23,26 tonnes brutes / ha
Humidité moyenne des bois entrée usine *	35,44 % (une partie des produits non encore broyés en avril 2018)

*Données générales transmises par gestionnaire/exploitant



Calendrier des interventions ETF et mesures de terrain

2. Surfaces circulées

Cloisonnements

Les cloisonnements ont une largeur moyenne de 3,80 m, pour un entraxe de cloisonnement de 25,5 m et une surface cloisonnée de **15 %**.

Circulation des engins

13 % de la surface de la parcelle a été circulée, exclusivement sur les cloisonnements d'exploitation. C'est donc un **très bon** chantier en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% de surface circulée	0<%≤15	15<%≤25	25<%≤33	33<%≤40	>40
Vert-Toulon	13 %				

Perturbations du sol

57 % de la surface circulée est considérée comme orniérée, c'est-à-dire marquée par des ornières de plus de 5 cm de profondeur.

Perturbations au sol sur les surfaces circulées			
Pas de perturbations	Perturbations < 5 cm	Ornière de 5 à 15 cm	Ornière > 15 cm
18 %	25 %	26 %	31 %

Cela correspond à **7 %** de la surface totale du chantier. C'est donc un chantier **médiocre** en termes de performances environnementales d'après l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière" effectué par l'AFOCEL en 2006 (disponible sur www.fcbainfo.fr).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
% d'ornières	0	0<%≤3	3<%≤5	5<%≤10	> 10
Vert-Toulon				7 %	

C. Estimation des biomasses et minéralomasses exportées

1. Estimation des pertes d'exploitation

Le protocole déployé pour estimer la quantité de bois issus de l'exploitation retournant sur la parcelle comporte des biais et ne prend pas en compte toute la variabilité du bois mort au sol dans la parcelle. Le protocole est considéré fiable pour les menus bois de petit diamètre (<4cm), mais les résultats sont à prendre avec précaution pour les diamètres moyens (4-7cm), et ne sont pas significatifs pour les gros diamètres (>7cm). Ces derniers ne sont pas présentés ici.

On présente ici une fourchette de valeurs pour prendre en compte une certaine marge d'erreur pour les petits et moyens diamètres.

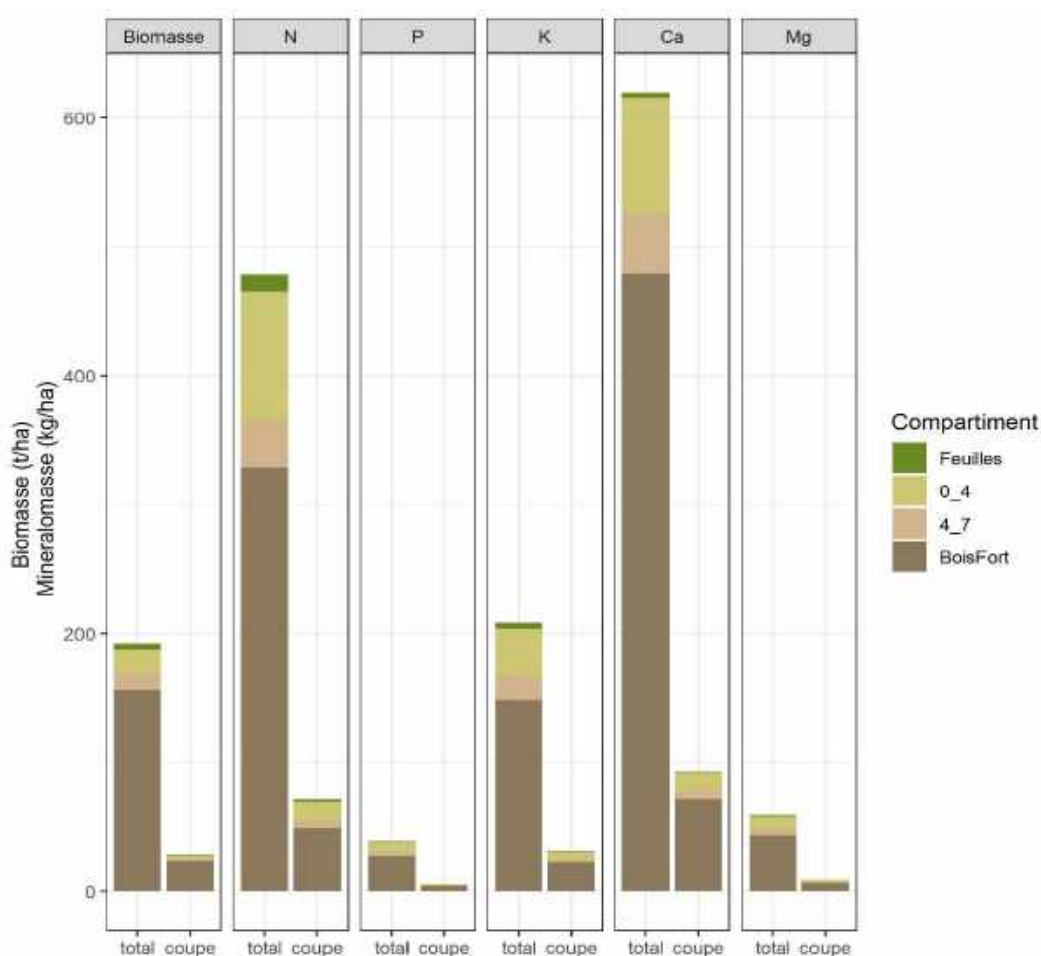
Tranche de diamètre	0-4cm	4-7cm
% de bois mort laissé au sol	27-87 %	0 %

Le chantier de Vert-Toulon se trouvant sur une zone de sensibilité faible à l'exportation minérale, il est conseillé de laisser au minimum 10 % des menus bois sur la parcelle d'après les recommandations Gerboises. Cet objectif est ici atteint pour les petits diamètres, mais pas pour les bois de diamètre 4-7cm.

2. Biomasse et minéralomasse exportées

ATTENTION, les chiffres exposés ci-dessus ne prennent pas en compte les volumes de menus bois qui retournent sur la parcelle suite à l'abattage et au débardage des arbres.

	Biomasse (Tonne sèche / ha)	Minéraux (Kg / ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Avant	192	478	38	208	619	59
Après	163	407	33	177	527	50
BILAN exporté	29	71	6	31	92	9
% exportations	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %



Ainsi, en prenant en compte le retour des minéraux des menus bois qui n'a pas été précisément quantifié, on peut dire que moins d'un cinquième des minéraux présents dans le peuplement forestier sont exportés et ne retourneront pas dans le sol forestier.

D. Commentaires

Vert-Toulon était un gros chantier (plus de 60ha) et présentait deux types de parcelles avec des peuplements plus ou moins bien conformés. Les mesures ont été réalisées dans les deux parcelles et moyennées sur l'ensemble des 60ha.

Index des figures

Figure 1. Les différents volets et rapports du projet GERBOISE.....	7
Figure 2. Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type peuplement et de coupe.....	10
Figure 3. Répartition de la récolte de bois pour la production de plaquettes forestières par type de biomasse.....	10
Figure 4. Modalités de récolte les plus fréquentes pour la production de plaquettes forestières.	10
Figure 5. Schéma des 4 modalités les plus représentées (numérotation correspondante à celle de la Figure 4).....	11
Figure 6. Exemples de variabilité de la biomasse bois mort retrouvée entre placettes sur les chantiers de Courcy et Gault (C. Raveloson).....	13
Figure 7. Localisation des chantiers Gerboise, Defiforbois, et Macobois.	14
Figure 8. Architecture générale de la base de données GERBOISE.....	18
Figure 9. Exemples d’ajustements du modèle hauteur-circonférence avec deux cas : ajustement par essence à gauche sur les données Gerboise pour le châtaignier et à droite sur les données IFN car trop peu de données disponibles sur Mélèze.	21
Figure 10. Ajustement du modèle de biomasse foliaire en fonction de la surface terrière sur les données RENECOFOR et par groupes (A et B groupes EMERGE et Deci pour l’ensemble des feuillus).	23
Figure 11. Ajustement à gauche (couleurs des groupes du tableau des essences, B pour Bois et E pour Ecorce). A droite sont représentés les modèles azote pour le bois uniquement pour les 5 groupes (même code couleurs).....	24
Figure 12 : concentrations moyennes en azote à gauche et en phosphore à droite issues des données RENECOFOR et pour les 3 groupes d’essences définis pour le feuillage.....	25
Figure 13. Enchaînement des données utilisées à différentes échelles et calculs mis en œuvre dans la chaîne de calcul Gerboise (©Clark Raveloson, 2018).	26
Figure 14. Biomasse avant exploitation et exploitée au cours des 18 chantiers Gerboise, distribuée par taille de compartiment.....	29
Figure 15. Phosphore avant exploitation et exploité au cours des 18 chantiers Gerboise, distribué par taille de compartiment.....	30
Figure 16. Ratio de masse sèche sur masse humide des différents échantillons récoltés sur les bandes de mesures de bois mort, avant et après débardage.	31
Figure 17. Photos de chantiers laissant entre 70-100 % en haut ou 10 à 20 % en bas de menus bois au sol (photos Clark Raveloson et Isabelle Bilger)	34
Figure 18. A gauche, rapport entre la biomasse exportée totale (avec (rond) ou sans (triangle) les feuilles) et la biomasse de tige et branches limitée au bois fort (7 cm de diamètre de découpe). A droite, même représentation mais pour les quantités d’azote.....	35
Figure 19. Rapports de minéralomasses exportées calculées pour K, P, Mg et Ca en relatif à l’export de bois fort seul.....	36
Figure 20. Rapports d’export de minéralomasse supplémentaire rapporté à la récolte supplémentaire de biomasse quand on récolte toute la biomasse (avec menus-bois, avec ou sans feuille) par rapport à une récolte uniquement de bois fort.	36

Figure 21. Comparaison des tonnages rendus usine et des tonnages calculés, du Tableau 6.....	39
Figure 22. Comparaison des quantités de minéralomasse des peuplements avant exploitation et des arbres exploités, avec les deux méthodes de calcul : en abscisse avec la chaîne de calcul par arbre et en ordonnées avec les allométries publiées dans le projet Resobio (Achat et al., 2016). La première bissectrice est représentée.	44
Figure 23. Schéma du calcul des besoins en amendement/fertilisation – C.Nys, S.Didier, A Legout, INRA 2016.....	45
Figure 24. Feuille d’interface de l’outil FORGECO – données du site MOS Ban d’Harol.....	49

Index des tableaux

Tableau 1. Caractérisation des chantiers suivis dans Gerboise.	15
Tableau 2. Organisation des principales essences et en particulier des essences rencontrées dans Gerboise selon les 5 ou 12 groupes construits dans le projet Emerge (Longuetaud et al, 2014).....	19
Tableau 3. Calculs de bois frais laissés au sol selon les 4 hypothèses retenues avec proposition d'une fourchette d'hypothèse pour les 0-4 ou 4-7cm. A 0 % aucun bois frais ne reste sur la parcelle, à 100 % au contraire tout est exporté.	32
Tableau 4 et 5. Répartition des chantiers par classes de sensibilité Gerboise et report des pertes d'exploitation au sol par sensibilité (les pourcentages sont exprimés en proportion de la biomasse récoltée). NB : le Chantier de Gault n'a pas été intégré dans ces calculs.	37
Tableau 6. Comparaison des tonnages rendus usine et des calculs fait à partir des placettes d'inventaire. La dernière colonne estime le volume exploité en tenant compte du bois frais resté au sol.	39
Tableau 7. Sorties du logiciel Regesol pour les données du site de Ban d'Harol de hêtre du réseau MOS.	47
Tableau 8. Sorties du logiciel Regesol pour les données du site de Ban d'Harol de hêtre du réseau MOS.	47
Tableau 9. Ratio exportation de biomasse et minéralomasse exportées à la 1ère éclaircie par rapport aux exportations totales au cours d'une révolution complète (simulation Respire Ban d'Harol).....	47
Tableau 10. Comparaison des calculs de besoins de remédiation issus du logiciel Regesol par rapport au calcul des exportations de menus-bois sur le dispositif de Ban d'Harol.	48

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME

-  ■ **IL S'Y EN TONT FAIT**
■ L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.
-  ■ **EXPERTISE**
■ L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.
-  ■ **FAITS ET CHIFFRES**
■ L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.
-  ■ **CLÉS POUR AGIR**
■ L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.
-  ■ **HORIZON**
■ L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et résume des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



GERBOISE : GEstion raisonnée de la Récolte De BOIs-Energie OBSERVATOIRE DES PRATIQUES DE RECOLTE DU BOIS ENERGIE ET EVALUATION D'OUTILS DE FLUX

Dans un contexte de demande accrue pour le bois énergie, les pratiques de récolte conduisent de plus en plus souvent à un export des compartiments jusqu'alors laissés en forêt (feuillage, menus bois, souches).

Le projet GERBOISE visait à mettre à disposition des opérateurs de terrain des recommandations et conseils concernant la récolte de ces compartiments supplémentaires (VOLET 1).

Pour alimenter l'expertise scientifique et stabiliser ces recommandations (disponibles au sein d'un rapport dédié), le projet visait également à mettre en place un observatoire pour suivre l'évolution quantitative des pratiques (VOLET 3 : observatoire des pratiques de récolte des plaquettes forestières) et mesurer leurs conséquences en termes d'exportation (VOLET 2 : évaluation d'outils méthodologiques pour quantifier l'exportation d'éléments minéraux).

Ce rapport technique contient les résultats des VOLETS 2 et 3 du projet GERBOISE.

