



Mars
2019

RECOMMANDATIONS POUR UNE RECOLTE DURABLE DE BIOMASSE FORESTIERE POUR L'ENERGIE

Focus sur les compartiments menus
bois et souches



ADEME



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

Guide de recommandations

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Ces recommandations constituent un des produits du projet GERBOISE « Gestion raisonnée de la récolte de bois-énergie » financé par l'ADEME (2015-2018).

La réalisation de ce document a été coordonnée par Guy LANDMANN (GIP Ecofor) ; ce travail a mobilisé, pour sa partie « centrale » (fertilité, biodiversité, exploitation / sylviculture), par un groupe d'experts constitué de Laurent AUGUSTO (INRA), Isabelle BILGER (Irstea), Nicolas BILOT (GCF), Vincent BOULANGER (ONF), Emmanuel CACOT (FCBA), Christine DELEUZE (ONF), Marion GOSSELIN (Irstea), Marine LEBLANC (GCF), Arnaud LEGOUT (INRA), Sophie PITOCCHI (GCF), Noémie POUSSE (ONF), Jean-Pierre RENAUD (ONF), Claudine RICHTER (ONF), Erwin ULRICH (ONF), Laurent Saint-André (INRA) et Lucas Schrepfer (GCF),

En complément, des contributions ont été apportées sur les thématiques « eaux » et « tassement des sols » par Pascale MERCIER (Agence de l'Eau Seine-Normandie), Jean-Michel MOUREY (ONF), Mickael OUISSE (ONF), Didier PISCHEDDA (ONF), et Emmanuel MOITRY (ONF).

Fabienne BENEST, Stéphanie WURPILLOT, Marie GARNIER et Claire GODEL ont fourni données et cartes de l'inventaire forestier national (IGN).

Annabelle AMM (ECOFOR) et Nicolas BILOT (GCF) ont contribué à la mise en forme du document.

Avertissement

Dans un contexte de transition écologique et énergétique, la filière forêt-bois a fortement évolué ces dernières années, notamment sous l'impulsion des pouvoirs publics. Ainsi, les attentes des décideurs politiques et de la société civile sont fortes et parfois contradictoires vis-à-vis de cette filière porteuse d'enjeux. Face à de telles attentes, ce document vise à éclairer les acteurs de la filière souhaitant s'engager vers une filière exemplaire à haute performance environnementale. Il s'agit donc ici de mettre à disposition des acteurs de la filière forêt-bois des recommandations visant à maîtriser les impacts de la récolte de bois-énergie sur l'environnement, et des outils permettant de diagnostiquer le statut de sensibilité des parcelles vis-à-vis de la récolte accrue de biomasse.

Les principaux enjeux sont le maintien de la fertilité et la préservation de la biodiversité. Les recommandations principales portent sur la récolte des compartiments de bois laissés en forêt jusqu'à récemment, à savoir les menus-bois et les souches.

Les recommandations sont issues d'un important travail d'expertise scientifique collective.

Le travail ne s'arrête pas avec la parution de ce document. Les recommandations doivent être confrontées au terrain, afin d'en évaluer l'opérationnalité et leurs impacts technico-économiques. Retours d'expérience et expérimentations ciblées permettront d'en juger plus précisément et d'ajuster ultérieurement, si nécessaire, certaines recommandations.

Les principaux enjeux sont le maintien de la fertilité et la préservation de la biodiversité. Les recommandations principales portent sur la récolte des compartiments de bois laissés en forêt jusqu'à récemment, à savoir les menus-bois et les souches.

CITATION DE CE RAPPORT

Landmann G., Augusto L., Pousse N., Gosselin M., Cacot E., Deleuze C., Bilger I., Amm A., Bilot N., Boulanger V., Leblanc M., Legout. A., Pitocchi S., Renaud J.-P., Richter C., Saint-André L., Schrepfer L., Ulrich E., 2018. **Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie - Focus sur les menus bois et les souches**. Paris : ECOFOR, Angers : ADEME, 50 pages

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

PDF 1.9 Mo, 43 p. + annexe

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

Étude coordonnée par G. Landmann - projet financé par l'ADEME

Coordination technique - ADEME : Alba DEPARTE, Audrey RIMBAUD

Ingénieures, Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie, Direction Productions et Energies Durable

Table des matières

INTRODUCTION	5
PARTIE 1 : POURQUOI PRENDRE DES PRECAUTIONS	9
LORS DES RECOLTES ?	9
1.1 Eviter la dégradation de la fertilité des sols forestiers	10
1.2 Préserver la biodiversité, notamment celle liée au bois mort et au sol	13
1.3 Eviter le tassement et l'érosion des sols forestiers.....	15
1.4 Limiter la perturbation des cours d'eau et des zones humides	17
PARTIE 2 : DIAGNOSTICS PREALABLES AU LANCEMENT D'UN CHANTIER DE RECOLTE	19
2.1 Déterminer la sensibilité du sol à l'exportation d'éléments minéraux.....	20
2.2 Vérifier si le terrain est en zone protégée vis-à-vis de la biodiversité et repérer les éléments supports de biodiversité.....	22
2.3 Evaluer les risques de tassement et d'érosion des sols	24
2.4 Repérer les cours d'eau et les zones humides	26
PARTIE 3 : RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES POUR LA RECOLTE DE MENUS BOIS ET DES SOUCHES.....	27
3.1 Recommandation 1 : Eviter l'exportation de feuillage	28
3.2 Recommandation 2 : Raisonner l'exportation des menus bois	29
3.3 Recommandation 3 : Raisonner la récolte des souches	32
PARTIE 4 : RECOMMANDATIONS COMMUNES A TOUTE RECOLTE DE BOIS	34
4.1 Préserver les éléments supports de biodiversité	35
4.2 Gérer les risques de tassement et d'érosion des sols forestiers	36
4.3 Préserver la qualité des eaux et les zones humides en forêt.....	37
Index des sigles et abréviations	38
Bibliographie	39
Glossaire	41
ANNEXE 1.....	44

Introduction

Le contexte de la transition énergétique et les enjeux écologiques et sylvicoles

La Loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV, 2016) prévoit de porter la part des énergies renouvelables à 38 % dans la consommation finale de chaleur à horizon 2030, soit plus de deux fois le niveau qui sera atteint en 2020. Cet objectif repose en partie sur la biomasse puisque le bois représente la moitié des énergies renouvelables en France. La biomasse issue de la forêt est donc concernée en premier lieu et ces objectifs impliquent de développer l'exploitation forestière dans le cadre d'une gestion durable des forêts

S'agissant de la biomasse forestière, la récolte de bois pour la production des plaquettes forestières a d'ores et déjà plus que triplé au cours des dix dernières années, grâce notamment à des incitations publiques, dont le Fonds Chaleur¹ et les appels à projets de la Commission de Régulation de l'Energie². En parallèle, la récolte du bois buche s'est réduite.

La filière bois-énergie mobilise de plus en plus des compartiments de bois jusqu'alors laissés en forêt : branches de diamètre inférieur à 7 cm (menus bois), arbres entiers de petits diamètres non valorisables sur les marchés traditionnels et, dans certains cas, souches. Ces éléments ont une teneur élevée en éléments minéraux et offre un abri à de multiples organismes qui concourent par ailleurs au bon fonctionnement de l'écosystème. Fertilité et biodiversité peuvent ainsi être mis en danger si des précautions ne sont pas prises.

L'accroissement de la demande de bois-énergie a, par ailleurs, des répercussions favorables en termes de valorisation sylvicole : le nouveau marché de la plaquette forestière permet de réaliser des opérations sylvicoles, en les rendant rentables ou non coûteuses, le renouvellement ou la transformation de certains peuplements, notamment les taillis vieillissants, peut être envisagé. Une influence positive est également attendu en matière de risques d'incendie de forêt dans les régions exposées à cet aléa du fait de la réduction de la quantité de combustibles végétaux.

De nouvelles recommandations : pourquoi, par qui et pour qui ?

En 2006, la France a été parmi les premiers pays à se doter, dans le contexte du développement du bois-énergie, d'un document intitulé « *La récolte raisonnée des rémanents en forêt* »³ (Cacot *et al.*, 2006). En dix ans, les modalités d'exploitation du bois-énergie ont fortement évolué et les préoccupations sur les incidences possibles se sont diversifiées. C'est pourquoi l'ADEME a souhaité actualisé ce document afin de **mettre à disposition des opérateurs de terrain des recommandations et conseils concernant les pratiques de récolte des compartiments menus bois et souches**.

Un groupe d'une vingtaine d'experts, issus de la recherche académique et technologique, de la R&D et du monde professionnel, animé par le GIP Ecofor a été chargé d'évaluer les apports des travaux scientifiques récents concernant l'influence de la récolte accrue de bois-énergie en forêt, non seulement sur la fertilité des sols, mais aussi sur la biodiversité et les ressources en eau. Le rapport

¹ Créé par la loi Grenelle 1 (2009) et géré par l'ADEME, le Fonds Chaleur participe au développement de la production renouvelable de chaleur, dont celle à partir du bois. Il est destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et aux entreprises.

² Ces appels constituent une incitation pour la création d'installations bois-énergie (entre autres énergies renouvelables) et entraînent indirectement une mobilisation accrue du bois énergie en forêt.

³ La définition des termes rémanents, menus bois, bois-énergie est donnée page 6 et dans le glossaire.

RESOBIO⁴, résultat de ce travail, fait suite à plusieurs études⁵ menées depuis 2004 et constitue la source scientifique principale de ce travail.

Les contours thématiques et sylvicoles

La **fertilité minérale** des sols et la **biodiversité** sont les domaines majeurs abordés dans ce guide. Le tassement des sols, l'érosion des sols, la préservation des eaux et zones humides en forêt sont traités de manière moins approfondie, en partie à partir de guides existants. D'autres sujets mériteraient être traités, comme par exemple la récolte de bois-énergie dans les zones où le risque d'incendie est élevé, les précautions vis-à-vis du patrimoine archéologique, les pratiques de fertilisation et le retour des cendres en forêt, si ce dernier était autorisé à l'avenir.

Ce guide ne concerne pas la production de bois bûche et n'aborde pas le cas des taillis à courte & très courte révolution qui s'apparentent davantage au modèle agricole, notamment en termes de gestion des sols.

Les fondements scientifiques

Les recommandations du guide sont scientifiquement fondées. Certaines ont une base large, explicite et indiscutable, alors que d'autres reposent sur une connaissance partielle que les experts interprètent en fonction de leur expérience. Ces « dire d'experts » intègrent souvent l'incertitude, le risque, voire, avec mesure, le principe de précaution.

Certaines recommandations peuvent sembler, au moins en première analyse, délicates à mettre en œuvre techniquement et peu satisfaisantes sur un plan économique. Les données technico-économiques précises pour en juger font souvent défaut. Pour toutes ces raisons ce guide a vocation à évoluer dans le temps : les retours d'expériences et l'expérimentation feront évoluer la connaissance et, quand on le jugera utile, les recommandations.

Un document organisé en 4 parties et autant d'étapes pour l'utilisateur

1. la **compréhension des enjeux** et les mécanismes en jeu,
2. le **diagnostic des** contraintes de la parcelle forestière,
3. les **précautions spécifiques** à prendre pour l'exportation des menus bois et de souches,
4. les **précautions communes à tous les types de récolte**.

Ce document de recommandations remplira d'autant mieux son office qu'il sera relayé, explicité au plus près du terrain.

⁴ Projet RESOBIO : Gestion des résidus forestiers : préservation des sols et de la biodiversité

⁵ Une description de ces travaux se trouve sur le site Internet Gerboise :

<http://www.gip-ecofofor.org/gerboise/index.php?sujet=10>



pour plus de détails, dans le glossaire en fin de document)

, après prélèvement des compartiments d'intérêt pour le bois d'œuvre, le bois industrie (grumes, surbilles de tiges) et du bois bûche. Ils regroupent les branches de diamètre inférieur à 7 cm (menus bois) et, par extension, les chutes de découpe, le feuillage et les souches, et certaines tiges et branches de diamètre supérieur à 7 cm non valorisés.

: concernent les cimes et branches de moins de 7 cm habituellement laissées sur coupe mais qui peuvent être mobilisées à des fins énergétiques.

P fragments ou copeaux de bois obtenus par déchiquetage. Elles sont le résultat du broyage par des engins mécanisés des rémanents d'une exploitation forestière, d'arbres ou de portions d'arbres de faible diamètre ou valeur. Elles constituent de loin la source d'approvisionnement la plus importante des installations collectives et industrielles de chauffage, alors que le représente la première source des unités de combustions individuelles.

: valorisation énergétique de la biomasse sous forme de plaquettes forestières, mais également de bûches, briquettes, granulés de bois (pellets), plaquettes d'industrie, broyat de bois recyclé et écorce broyée. Par abus de langage, on réduit souvent le bois-énergie à la composante plaquettes forestières issues des menus bois.



La biomasse (dont le bois) représente près de 80% de la production de chaleur renouvelable en France (123 TWH en 2016) :

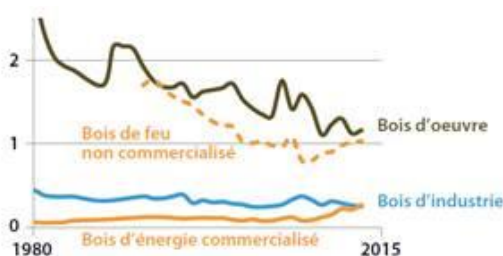
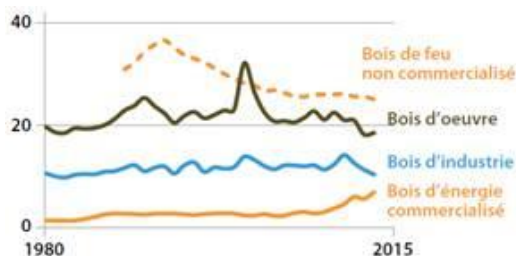
- 70% de cette chaleur renouvelable issue de la biomasse concerne le secteur domestique. Les installations domestiques s'approvisionnent (en proportion des ménages concernés) à 91 % en bois bûche (dont la majeure partie n'est pas commercialisé). La consommation de bois-bûche recule ces dernières années avec le développement des granulés.
- 30% de cette chaleur renouvelable issue de la biomasse concerne le secteur collectif et industriel. Les plaquettes forestières représentent environ 60 % de l'approvisionnement des installations industrielles, le restant étant fourni par la plaquette paysagère (linéaires de route, arbres urbains, déchets verts), les produits connexes de scierie, et les produits bois en fin de vie. La production de plaquettes a presque triplé au cours des dix dernières années

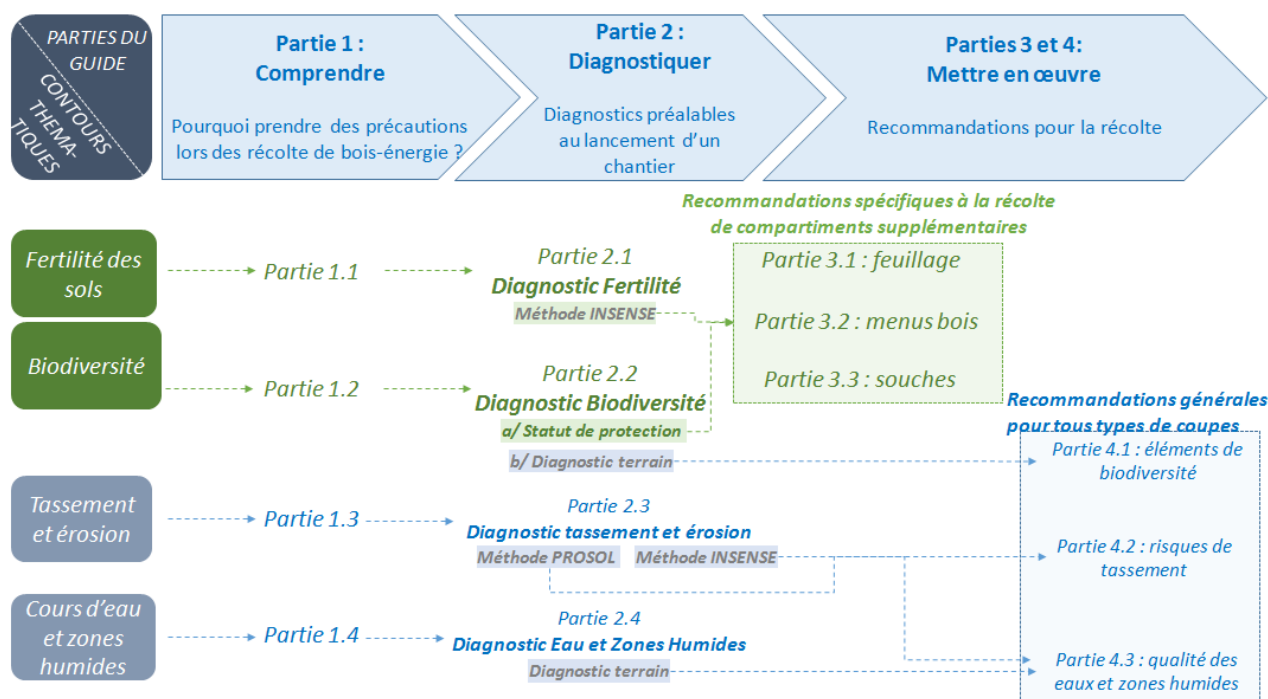
Sources : ADEME ; Mémento FCBA 2018 ; Agreste Memento Forêt-Bois 2012

Rétrospective de la récolte de bois sur 35 ans (Peyron, 2015 - IGD forêts 2015, p. 19)

Récolte en volume (millions de tonnes)

Récolte en valeur (milliards d'euros)





Partie 1 : Pourquoi prendre des précautions lors des récoltes ?

*Pourquoi se préoccuper des conséquences possibles
d'une récolte accrue de biomasse forestière, incluant des
compartiments laissés sur place jusqu'à récemment.
Quels sont les mécanismes en jeu ?*

*Plusieurs éléments de l'écosystème forestier sont examinés :
la biodiversité, notamment celle liée au bois mort,
les sols (leur fertilité, les risques de tassement et d'érosion),
et les eaux et zones humides.*

Le risque de perte de fertilité des sols forestiers associé à la récolte de menus bois et souches est lié, d'une part à 1) l'**exportation parfois forte d'éléments minéraux** et, d'autre part 2) à la **sensibilité des sols vis-à-vis de l'exportation des éléments minéraux**.

La récolte accrue de biomasse pour la production de plaquettes forestières inclut les **menus bois**, parfois une fraction du **feuillage** et, dans quelques régions, les **souches**. Ces éléments, non valorisés par les filières bois d'œuvre, bois d'industrie et bois bûche, étaient traditionnellement laissés sur le terrain sous le terme de rémanents (mais ne l'ont pas toujours été en des temps plus anciens, notamment pour le bois de chauffage). Ils constituent une **biomasse riche en éléments nutritifs** : calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), phosphore (P) et azote (N).

Le feuillage est beaucoup plus riche en nutriments que les autres parties de l'arbre (figures 1 et 2). Son exportation a des effets marqués et prolongés – pendant plus de 15 ans – sur la fertilité du sol et la production du peuplement.

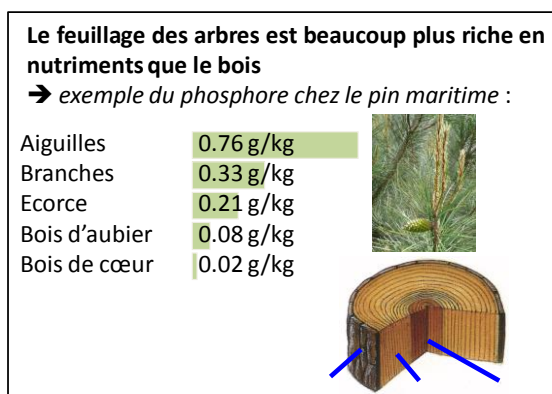


Figure 1 : Richesse en nutriments des compartiments de l'arbre

Les menus bois (branches et tiges de moins de 7 cm de diamètre) **sont riches en éléments minéraux** (figure 3), **particulièrement les plus fins**. C'est pourquoi leur récolte a un impact sur la fertilité des sols et affecte la production des peuplements pendant une dizaine d'années voire davantage, avant de s'estomper progressivement. Le retour est progressif et d'autant plus lent que le sol est sensible à l'export de nutriments ; des récoltes répétées intervenant à plusieurs reprises et de manière rapprochée entraînent un risque important de baisse de productivité.

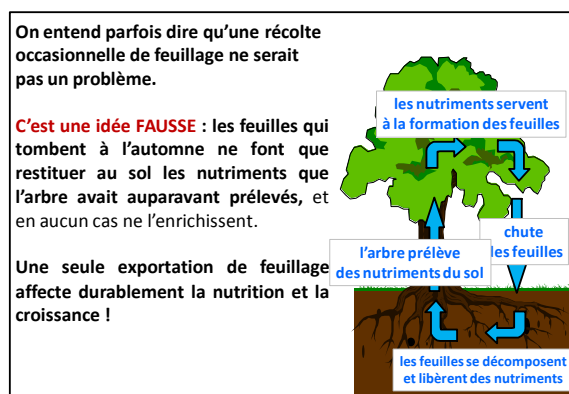


Figure 2 : Perte de feuillage et cycle des nutriments

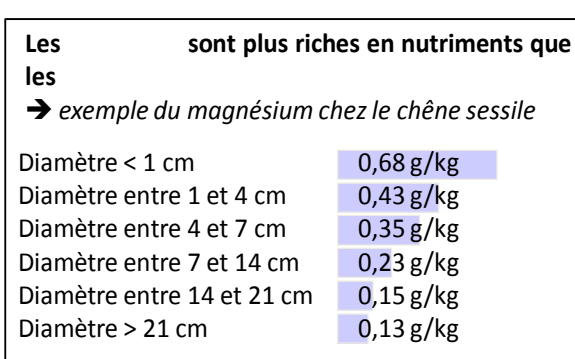


Figure 3 : Richesse en magnésium du bois de chêne sessile en fonction du diamètre des branches / tiges

Les **racines** sont, comme les branches et troncs, **d'autant plus riches en nutriments qu'elles sont de petit diamètre**. Ainsi, les souches ont une composition proche de celle des troncs alors que les racines les plus fines sont riches en nutriments. En outre, un sol physiquement perturbé par un dessouchage tend à perdre une **partie de ses nutriments**.

La capacité du sol à fournir des nutriments aux arbres dépend (Figure 4) :

- des **apports extérieurs**, surtout par **altération des minéraux du sol et de la roche-mère**, et par **dépôts atmosphériques**,
- de la **capacité de recyclage biologique des nutriments**, qui se fait d'une part par la décomposition (minéralisation) du feuillage tombé au sol et, d'autre part, par le rapatriement des nutriments des feuilles vers le tronc, avant la sénescence des feuilles. **La sensibilité des sols à l'exportation minérale est liée à l'importance quantitative de ce recyclage.**

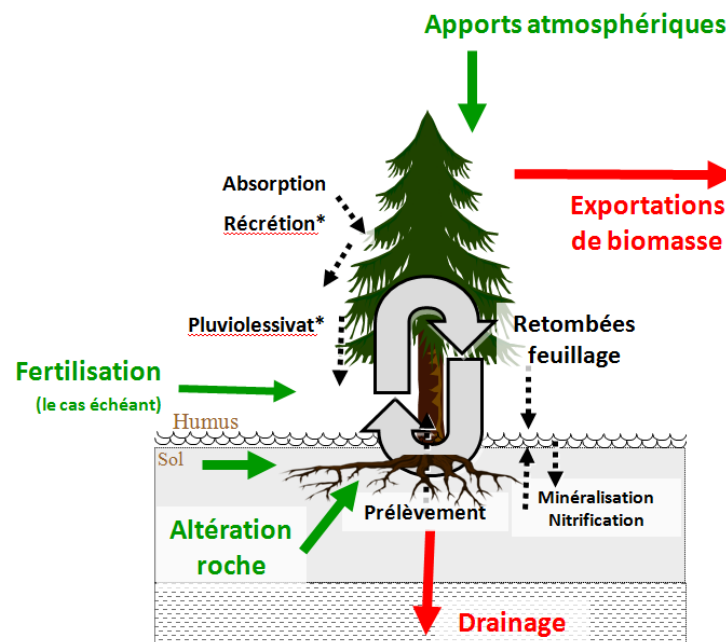


Figure 4 : Apports, exports et recyclage d'éléments minéraux dans le sol
Echanges avec l'extérieur : flèches vertes (apports) et rouges (exports)
Recyclage biologique (termes et flèches en noir)

La composition minérale en Ca, Mg, K, P et N des 10 premiers cm des sols constitue le meilleur indicateur connu à ce jour de l'importance de ce recyclage pour la fertilité (Augusto et Pousse, 2018). La fertilité d'un peuplement forestier, couramment évaluée par la hauteur atteinte à un âge donné, n'indique pas de façon précise la sensibilité de ce peuplement à l'exportation d'éléments minéraux. Ainsi, un recyclage intense des éléments nutritifs peut permettre une bonne croissance des arbres sur des sols « pauvres », le système est alors fertile mais sensible aux exportations. A l'inverse, un sol riche supportera des exports d'éléments nutritifs plus importants grâce aux réserves disponibles et à sa capacité à les reconstituer à partir de la dissolution de la roche mère.

De manière générale, en cas de récolte de menus bois et de souches, la perte de matière organique du sol est très rapide suite à l'exportation de menus bois et plus encore de feuillage, et les stocks initiaux sont généralement reconstitués après 10-15 ans environ, selon une analyse de la littérature mondiale

conduite dans le projet RESOBIO⁶. Notons que le seul fait de laisser tout le feuillage sur la parcelle permet déjà de limiter les risques pour la matière organique du sol comme pour les nutriments.



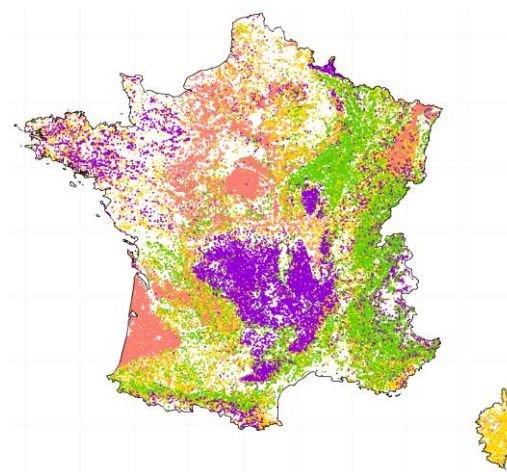
Faible	Modérée	Partielle (1)	Forte
30 % du territoire	23 % du territoire	24 % du territoire	23 % du territoire

Le % du territoire est calculé en utilisant la base de données de sol « BIOSOL » du réseau systématique de suivi des dommages forestiers à maille carrée 16 x 16 km.

(1) Une sensibilité « partielle » indique que le sol en question a une sensibilité forte pour une partie des nutriments seulement (Augusto et Pousse, 2018 ; projet INSENSE).

Vert : sensibilité faible. Jaune : sensibilité moyenne.
Violet : sensibilité partielle. Saumon : sensibilité forte.
Source : projet INSENSE⁷, base des données : IFN 2005-2015.

Cette carte constitue un zonage général, qui permet de visualiser à grande échelle les différentes zones. On constate une très forte régionalisation des contraintes. Un diagnostic local est indispensable dans la majorité des cas. Pour les régions très homogènes en terme de diagnostic, on pourra éventuellement s'en dispenser, mais la consultation du « Livret de terrain INSENSE⁸ » est préconisée dans tous les cas.



Naviguer dans le document



⁶ Rapport final du projet RESOBIO et Achat et *al.*, a et b

⁷ <https://www.ademe.fr/insense-indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestiers-soumis-a-recolte-accrue-biomasse>

⁸ https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/insense_indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestier-2018-outil.pdf

L'immense variété des formes de vie de nos forêts et des rôles qu'elles jouent dans l'écosystème constitue un patrimoine inestimable, source de services pour les forestiers et pour la société. Mais cette diversité n'est pas pour autant inépuisable, et les changements rapides, tant dans les évolutions climatiques que dans celles des pratiques sylvicoles peuvent l'altérer. Pour réussir les adaptations de notre patrimoine forestier et maintenir une sylviculture durable, il nous faut considérer la forêt comme un écosystème complexe dont il faut comprendre le fonctionnement.

On sait par exemple que l'exploitation forestière, en augmentant les lisières et l'arrivée de lumière au sol, favorise globalement la **diversité d'espèces héliophiles et péri-forestières** (flore, insectes floricoles). Mais on sait également, d'après une synthèse récente des connaissances (Archaux et Paillet, 2017), qu'elle a un effet globalement négatif sur la diversité d'espèces très forestières comme les **mousses, champignons, coléoptères saproxyliques ou carabiques**, et pas d'effet majeur sur des groupes comme les oiseaux. La gestion forestière s'efforcera donc de ménager les compartiments de biodiversité présents exclusivement en forêt ou sensibles à l'exploitation forestière.

Les **espèces saproxyliques qui dépendent du bois mort** pour tout ou partie de leur cycle de vie représentent plus de 25 % des espèces présentes en forêt. La diversité de ces espèces requiert avant tout une **variété de types de bois morts** : petit ou gros, feuillu ou résineux, à terre ou debout, à divers stades de décomposition.

Le bois mort au sol est aussi un habitat essentiel pour de nombreux microorganismes, notamment fongiques et bactériens ; sa répartition influence la mésofaune et la macrofaune du sol impliquée dans le recyclage de la matière organique et donc la fertilité des sols.

Ces mobilisations accrues de biomasse mobilisent des compartiments jusqu'alors peu exploités : menus bois et, parfois, souches. Par rapport à une exploitation traditionnelle⁹, cet export accru risque de modifier à court ou moyen termes la quantité et le profil de bois mort, en cas de récolte d'arbres entiers et de menus bois, de fragmentation de bois mort préexistant par le passage des engins ou le débardage, ou encore de moindre apport de gros bois mort en cas de baisse des âges d'exploitabilité (moins de grosses branches mortes du fait d'une moindre présence de gros et vieux arbres). En modifiant la quantité et le profil de bois morts, ces évolutions impactent l'habitat d'une partie importante de la biodiversité forestière.

⁹ Jusqu'à récemment, la récolte était dominée par le bois d'œuvre (grumes), le bois d'industrie, et le bois bûche. Ces récoltes, qualifiées ici de « traditionnelles », laissaient au sol un volume assez important de rémanents (voir glossaire), ce qui n'est pas le cas de la récolte d'arbres entiers pour la fabrication de plaquettes.

Les **menus bois** abritent de nombreuses espèces vivantes, différentes de celles du gros bois mort. Ils abritent notamment une grande partie des **communautés d'insectes saproxyliques et d'ascomycètes**. Ils constituent des **abris pour les amphibiens, reptiles, petits mammifères**, favorisent la colonisation par les mycorhizes et maintiennent des conditions microclimatiques favorables aux mousses. Les quelques études disponibles en forêt tempérée montrent que, par comparaison avec une récolte conventionnelle, l'export de menus bois diminue à court terme la diversité des communautés d'insectes saproxyliques à l'échelle de la parcelle, en modifiant leur composition et impacte les communautés d'oiseaux. Les impacts à long terme et à l'échelle du paysage restent mal connus. La flore est affectée par l'export de menus bois : à court terme le nombre d'espèces augmente via la mise en lumière, et à plus long terme la composition peut se modifier en réponse aux modifications de fertilité du sol.

Les **gros bois morts au sol** se décomposent lentement, fournissent un apport important de matière organique au sol et abritent des espèces nécessitant un habitat durable. Les **espèces rares d'insectes ou de mousses** tendent à être plus souvent sur des grosses pièces de bois mort. Sans intérêt économique, les gros bois morts au sol ne sont généralement pas exportés lors de l'exploitation des menus bois. Par contre, ils risquent d'être fragmentés par le passage d'engins, réduisant la part de grosses pièces de bois mort.

Les **souches** hébergent des assemblages d'espèces saproxyliques différents et plus riches que ceux des petits bois morts au sol, en particulier chez les conifères. Elles se décomposent lentement et constituent, dans un contexte forestier parfois pauvre en gros bois mort, un **habitat de substitution pour des organismes saproxyliques ubiquistes**. Ainsi, dans les plantations de pin maritime des Landes de Gascogne, les souches hébergent à elles seules plus de 80 % des espèces d'insectes rencontrées dans les bois morts de divers types. Dans les jeunes peuplements, elles constituent l'essentiel des grosses pièces de bois mort, assurant la continuité dans l'espace et dans le temps de ces habitats au moment de la régénération.

Outre les menus bois et souches, d'autres « **soutiens** » (listés ci-après) sont importants pour assurer la diversité des espèces forestières.

Les **gros et vieux arbres vivants** permettent le renouvellement du stock de bois mort par l'apport de nouvelles branches mortes au sol, et offrent un habitat à de nombreuses espèces : **cavités, fentes sous écorces, champignons polypores, écoulements de sève**.

Les **fruitiers** (pommiers, poiriers, merisiers, sorbiers...) et **autres essences secondaires** présentes au moins en sous-étage, représentent une ressource alimentaire importante pour les **oiseaux frugivores et les insectes floricoles**. Ces derniers, souvent non spécifiques d'une essence, sont aussi des pollinisateurs utiles ; c'est pourquoi le maintien de ressources en fleurs dans les forêts est important.

Naviguer dans le document



Le tassement (ou compactage) et l’orniérage des sols forestiers causés par les engins d’exploitation sont devenus un enjeu important de la gestion forestière. Ces dégâts sont très peu réversibles et donc à prendre très au sérieux. Les sols ont des sensibilités au tassement très variées, en fonction de divers facteurs : charge en cailloux, texture, structure, densité des racines, hétérogénéité des horizons, etc.

Un sol est d’autant plus sensible au tassement qu’il est humide. Il est important de noter que 80 à 90 % du tassement des horizons de surface du sol a lieu entre le premier et le troisième passage d’engin et que le temps nécessaire pour retrouver des conditions propices à la végétation est très long (supérieur à la décennie). L’idée assez répandue qu’il vaut mieux circuler avec les engins de débardage partout sur la parcelle pour diluer les passages conduit à un tassement sur une grande surface et cette pratique est absolument à éviter.

Les dégâts de tassement ont fait l’objet de réflexions techniques poussées, qui ont abouti aux guides [PROSOL \(2009\)](#) et [PRATIC’SOLS \(2017\)](#) consacrés à cette thématique et disponibles en ligne¹⁰.

On voit l’enjeu considérable de la protection physique des sols forestiers.

Tableau 1 : Sensibilité des sols forestiers métropolitains au tassement

Chiffres établis sur la base d’un échantillon représentatif de la forêt française dans le cadre du projet INSENSE (définition des classes selon le Guide PROSOL)

Sols non sensibles praticables toute l’année avec peu de précautions	Sols peu sensibles praticables quasiment toute l’année avec peu de précautions	Sols moyennement sensibles praticables une partie de l’année	Sols sensibles impraticables une grande partie de l’année	Sols très sensibles impraticables quasiment toute l’année
17 %	14 %	16 %	32 %	21 %

Naviguer dans le document



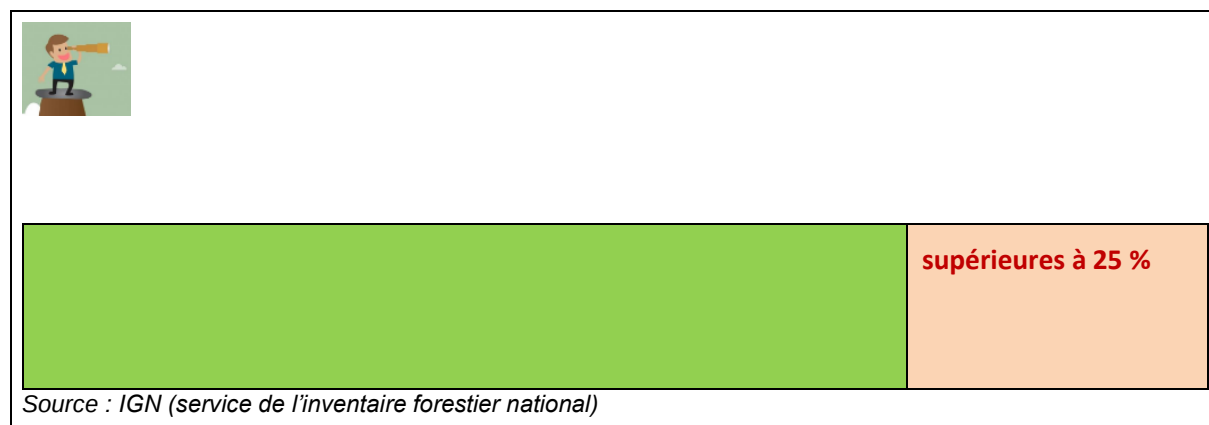
¹⁰ Guide PROSOL : http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++e69/@@display_media.html et Guide PRATIC’SOL : http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++5f39/@@display_media.html

L'érosion des sols en forêt (voir Vennetier *et al.*, 2013) est un phénomène majoritairement provoqué, sous nos latitudes, par les eaux de pluie. Elle entraîne la dégradation puis le déplacement des couches superficielles du sol, et constitue ainsi un **risque pour la fertilité du sol** et une **perturbation pour les eaux** situées en aval (voir page 17).

On connaît les succès historiques de la lutte contre l'érosion en montagne et en région méditerranéenne. Pour autant, tout risque n'est pas écarté car :

- la protection efficace assurée par la forêt peut être remise en cause à tout moment par des modifications brutales du couvert causées par un incendie, un problème phytosanitaire ou encore une coupe forestière mettant le sol à nu suite à une exportation forte de bois, y compris de menus bois ;
- l'aléa d'érosion des sols forestiers est présent à partir d'un seuil approximatif de 25 %¹¹ de pente. L'érosion ne concerne donc pas que les zones de montagne, mais tous les reliefs à toutes les échelles, jusqu'au microrelief.

La vulnérabilité des sols à l'érosion est variable, fonction de leur texture, de leur teneur en matière organique, de leur structure et de leur teneur en éléments grossiers pouvant freiner les flux d'eau.



Naviguer dans le document



¹¹ Rappel : on gagne 25m en altitude lorsqu'on avance de 100 m en projection horizontale (et non le long de la pente)

La forêt favorise de manière générale l'infiltration de l'eau dans le sol limitant ainsi l'érosion et améliorant son épuration. La forêt constitue ainsi la meilleure couverture du sol des bassins d'alimentation des eaux. Enfin, la forêt ne connaît qu'un très faible recours aux intrants.

Selon une estimation récente de l'inventaire forestier national 11 % des placettes d'inventaire (dont la surface est de 20 ares) comportent un **cours d'eau** (rivière, ruisseau, ru), une **mare** ou une **mardelle**, ce qui ne représente pas moins d'environ 1 500 000 ha de la forêt de production hors peupleraie.

Les **zones humides**, quant à elles, sont présentes dans 10 % des placettes de l'IFN ; 4 % des placettes possèdent une hydromorphie forte en surface (moins de 15 cm de profondeur) et 6 % ont une hydromorphie forte à moins de 35 cm de profondeur. Ces zones humides se situent à 97 % dans les forêts de plaine, à une altitude inférieure à 600 m, dans des proportions équivalentes pour les cas d'une hydromorphie forte en surface et d'une hydromorphie forte à moins de 35 cm.

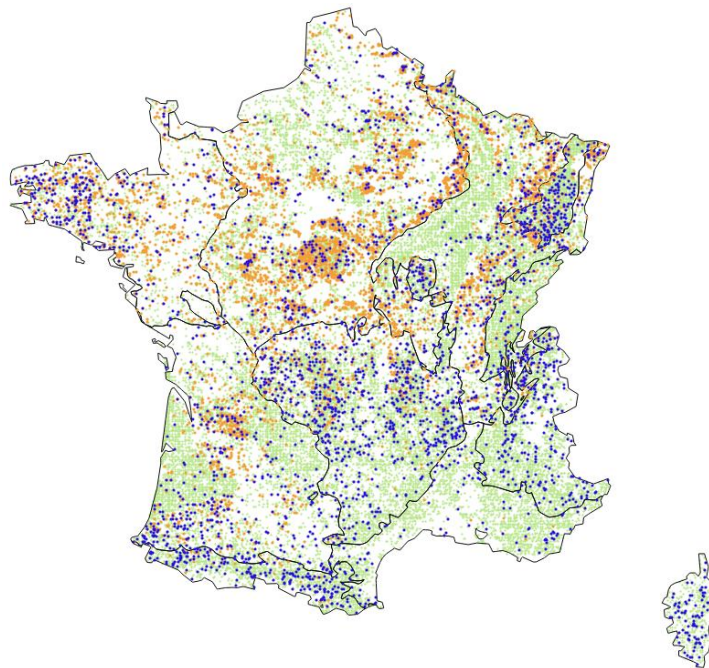


Figure 5 : Carte de répartition des placettes forestières possédant une présence d'eau ou une zone humide (IGN, campagnes d'inventaire 2012-2016). Elle présente la répartition des **placettes « forêt »** :

- **en bleu : avec présence d'eau** : ce sont les placettes sur lesquelles a été détectée la présence d'une mare, source ou cours d'eau sur la placette de 20 ares ou en bordure ;
- **en orange : avec présence d'une zone humide** : ce sont les placettes présentant soit une hydromorphie forte en surface (profondeur inférieure à 15 cm), soit une hydromorphie forte à moins de 35 cm de profondeur.
- **en vert : autres placettes forêt.**

En outre, dans plus de 90 % des cas, les sols dits impraticables (catégories « sols engorgés » et « aulnaies, tourbières et marais » se trouvent sur une placette où la présence d'un cours d'eau, d'une mare ou d'une mardelle a été constatée.

Le recoupement entre « zones humides » et « eaux » est relativement faible : il y a seulement 2 % des points avec à la fois la présence d'eau et de zone humide, alors qu'il y a 8 % des points avec présence d'eau uniquement et 8 % des points avec présence de zone humide uniquement.

L'exploitation forestière en général, et la récolte de menus bois et souches en particulier, peuvent augmenter les risques d'érosion et de dégradation des milieux :

- **le risque d'érosion** augmente par la forte mise à nu des sols, notamment dans les zones de pente (> 25 %) (voir diagnostic du risque érosion (voir Tableau 3) ou dans les parcelles riveraines de cours d'eau,
- **le risque d'altération des berges augmente** par écrasement, le dessouchage, le sous-solage ou la dégradation de la ripisylve,

Naviguer dans le document



Partie 2 : Diagnostics préalables au lancement d'un chantier de récolte

Un diagnostic s'impose avant toute récolte de menus bois ou souches.

Il concerne :

les sols (fertilité, tassement, érosion),

la biodiversité (statut de protection, supports de biodiversité),

les cours d'eau et zones humides

*Le praticien pourra ainsi mettre en œuvre les pratiques les plus adaptées
(cf. Parties 3 et 4).*

La méthode introduite ci-après est issue du projet de recherche INSENSE¹². Le diagnostic consiste à **comparer les concentrations du sol en éléments minéraux dans les couches supérieures du sol à des seuils de sensibilité**.

Une fois établis, les résultats de diagnostic sont **valables toute la durée de vie du peuplement**.

L'outil établit :

- **la sensibilité pour chacun des cinq éléments nutritifs majeurs** (Ca, Mg, K, P et N) exprimée en **trois classes** (faible, moyenne et forte),
- **la sensibilité synthétique** combine tous les éléments ; elle s'exprime en **quatre classes : faible, moyenne, forte et partielle**. La sensibilité dite partielle indique qu'une partie des nutriments majeurs sont présents en quantités suffisantes dans le sol alors que d'autres sont en quantités très limitées. Pour ces derniers, il existe ainsi un risque de perte de fertilité suite à une récolte intensive de biomasse. En règle générale, on pourrait, en se fondant sur le principe de précaution, considérer ces sols comme ayant une sensibilité forte. Toutefois, les acteurs de la gestion pourront, en se basant sur leur appréciation des caractéristiques locales des terrains, considérer ces sols comme ayant une sensibilité moyenne.

LE GUIDE DE TERRAIN, DONNANT LE PROTOCOLE DETAILLE EST DISPONIBLE [ICI](#)¹³.

1. Méthode de terrain

➔ **elle garantit un bon compromis entre fiabilité et coûts**

La méthode est basée sur l'observation de terrain de :

- la forme d'humus,
- la texture à 10 cm de profondeur,
- la zone écologique (Grandes Régions Ecologiques - GRECO - de l'IGN),
- la profondeur de sol : supérieure ou inférieure à 25 cm,
- la profondeur d'apparition de l'effervescence à l'acide chlorhydrique (HCl) : supérieure ou inférieure à 25 cm.

Quand des **cartes de sol** ou des données sur les **stations forestières** sont disponibles, le diagnostic peut être établi à partir de ces données.

¹² Indicateurs de SENSibilité des Écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse. Projet de recherche (2014-2018) financé par l'ADEME.

¹³ https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/insense_indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestier-2018-outil.pdf

2. Méthode par analyse chimique

➔ la plus fiable, mais également la plus coûteuse

Si un des descripteurs (ex. : la forme d'humus) ne peut être déterminé sur le terrain et empêcher ainsi la détermination de la sensibilité du sol, on pourra recourir à une **analyse chimique de sol** selon le guide de terrain INSENSE qui propose les méthodes à utiliser et les seuils distinguant les différentes classes de sensibilité

Dans tous les cas de figure, l'analyse de sol pour la couche de 0 à 10 cm permet de diminuer fortement le risque d'erreur de classement des sols.

Ils sont réalisés de préférence par le **gestionnaire** ou le **propriétaire forestier**, par exemple au moment de la description des peuplements et des travaux à réaliser dans les documents de gestion, en faisant appel, si nécessaire, à une **expertise en pédologie** disponible dans son environnement professionnel.

Si le gestionnaire ou le propriétaire n'a pu réaliser le diagnostic, la tâche en incombera au **professionnel acheteur de bois**.

Faute d'un tel diagnostic, il ne sera pas possible de recommander les pratiques de récolte les plus adaptées (Parties 3 et 4).

Naviguer dans le document



Il s'agit de confirmer ou d'acquérir deux types d'information de nature très différentes :

- le statut du terrain relativement à la préservation de la biodiversité est en principe connu du propriétaire et du gestionnaire, mais des vérifications peuvent s'avérer utiles ;
- le repérage des éléments supports de biodiversité (bois morts, vieux arbres, essences secondaires). Il se fera avant chaque intervention car ces éléments varient au cours du temps.

1. Zones forestières sans statut réglementaire (env. 77 % du territoire forestier)

En l'absence de statut réglementaire, la préservation de la biodiversité dans le contexte des récoltes de bois-énergie est assurée par le biais des recommandations « standards » (Partie 3).

Certaines zones non réglementées peuvent présenter un intérêt biologique fort (ZNIEFF de type 1, zones de continuité écologique (trame verte et bleue) des Schémas Régionaux de Cohérence Ecologiques,...), ce qui peut justifier la mise en œuvre des mesures de type « statuts intermédiaires » (ci-après) sur une base volontaire de la part des gestionnaires. De même, les Parcs naturels régionaux (PNR) peuvent, via leurs chartes, se fixer des objectifs de préservation plus ambitieux.

2. Zones forestières à statuts de protection intermédiaires (env. 21 % du territoire forestier)

La conservation de la biodiversité constitue une priorité forte dans les zones listées ci-dessous. Des mesures de gestion spécifiques précisent parfois les formes d'exploitation forestière qui peuvent être pratiquées. Là où ce n'est pas le cas, ce guide module les recommandations concernant la récolte des menus bois et souches. Dans les zones à enjeux spécifiques (ex : Natura 2000), des règles co-construites localement peuvent reprendre ces recommandations ou en fixer des plus contraignantes.

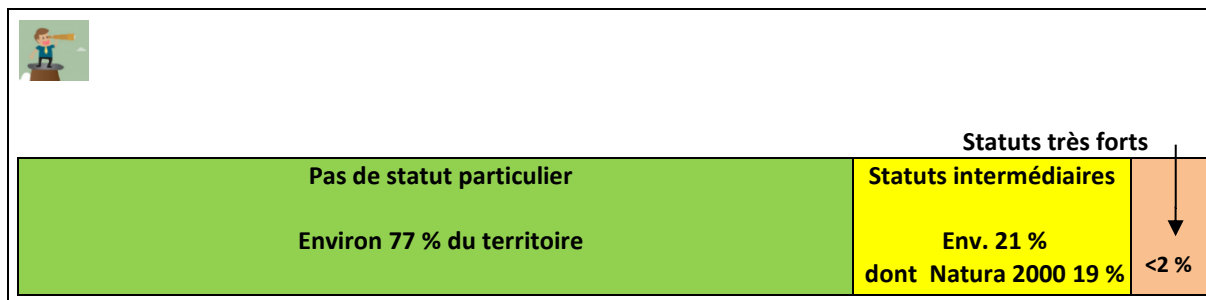
Natura 2000	Regroupe les ZPS, Zones de protection spéciale (anciennes ZICO) et les ZSC, Zones spéciales de conservation . Se référer aux documents d'objectifs afférents (DOCOB) et aux annexes vertes des Schémas Régionaux de Gestion Sylvicoles (SRGS) en forêt privée.
PN-adh	Aires d'adhésion à un parc national , régies par une charte qui peut intégrer des aspects forestiers.
ENS	Espaces naturels sensibles des départements ; ils peuvent chercher à préserver des écosystèmes forestiers même si l'ouverture au public est souvent la priorité.

3. Zones forestières à statuts de protection très forts (< 2 % du territoire forestier)

L'exploitation forestière est interdite ou fortement réglementée dans les zones concernées.

RBI	Réserves biologiques intégrales.
RBD	Réserves biologiques dirigées (exception de récoltes de restauration de milieux ouverts).
PN-Coeur	Zones de cœur des parcs nationaux.
RN	Réserves naturelles nationales, régionales et de Corse.
APPB/APHN	Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (protection d'habitat forestiers pour des espèces protégées) et (à partir de 2019) Arrêtés Préfectoraux des Habitats Naturels

NB Les îlots de vieillissement et de sénescence (< 0,3 % des territoires forestiers) font l'objet, dans les faits, d'une forte protection alors qu'ils ne bénéficient pas d'une protection réglementaire.



- **Le Géoportail de l'IGN**, pour une vision à l'échelle de la France métropolitaine :
 - <http://www.ign.fr/institut/biodiversite-cartographie>
 - http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/cp_fig_2017.pdf
- **le Site internet de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN)** (<https://inpn.mnhn.fr>) pour une recherche par commune (page d'accueil en bas à droite-) et pour les différentes couches géographiques (à l'exception des ENS et EBC), ,
- **Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)** ou **Directions Départementales des Territoires (DDT)**.

Naviguer dans le document



1

Faire le tour du chantier avec les opérateurs (conducteurs d'engins, bûcherons) avant le début des travaux, afin de **repérer les éléments sensibles** :

- les **pièces de bois mort** : chandelles, chablis isolé, gros et vieux bois mort au sol, souches,
- les **îlots comportant de grosses quantités de bois morts**,
- les **arbres vivants** constituant des supports de biodiversité : arbres à cavités, gros et vieux arbres, isolés ou en îlots.

Naviguer dans le document



Le présent guide donne quelques repères issus des guides dédiés [PROSOL \(2009\)](#) et _____.

➔ Nous invitons le lecteur à s'y référer pour plus d'informations.

La **sensibilité** des sols au tassement est évaluée en fonction de deux paramètres :

- la **texture** et le pourcentage d'éléments grossiers appréciés sur les 50 premiers centimètres,
 - ➔ L'évaluation se fait **pour chaque parcelle** et les résultats sont **consignés dans le document de gestion**,
- le **taux moyen d'humidité** est apprécié au moment de la coupe.

Tableau 2 : Sensibilité des sols au tassement en fonction de leur texture et état d'humidité. Source : Guide PROSOL

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

(Source : Guide PROSOL)

Non sensible
 Sensible
 Très sensible

Les **paramètres** et les **méthodes** pour les mesurer sont détaillés dans le **guide PROSOL**.¹⁴

Naviguer dans le document



¹⁴ Guide PROSOL p. 27, annexes 1 et 2 http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++e69/@@display_media.html,

La **clé de diagnostic** de sensibilité des sols en pente établie dans le cadre du projet INSENSE montre l'incidence des facteurs :

- pente : le seuil de 25 % partage assez nettement les sols sensibles et peu sensibles,
- taux de couverture végétale forestière,
 - couverture végétale mono-strate : une seule strate arborée, pas de strate basse,
 - couverture végétale multi-strate : au moins une strate arborée et une strate basse

Tableau 3 : Clé de diagnostic de sensibilité des sols en pente à un export supplémentaire de biomasse (clé établie sur la base d'une approche à dire d'experts - projet INSENSE)

Experts : Yves LE BISSONNAIS (INRA Montpellier, LISAH), Frédéric DARBOUX (INRA-Université de Lorraine, LSE) et Sylvain DUPONT (INRA Bordeaux, ISPA).

Rappel : le % de pente permet de décrire le relief en exprimant le rapport entre la dénivellation et la distance horizontale (mesure prise sur la carte). Ainsi, une pente de 3 % correspond à une dénivellation de 3 mètres sur une distance horizontale de 100 mètres.

Taux de couverture végétale

Pente	>70% Multi-strate	>70% Mono-strate	30-70% Multi-strate	30-70% Mono-strate	<30% Multi-strate	<30% Mono-strate
<10%	risque faible 	risque faible 	risque faible 	risque faible 	risque faible 	risque faible 
10-25%	risque faible 	risque faible 	risque faible 	risque faible 	risque modéré 	risque modéré 
25-40%	risque faible 	risque modéré 	risque modéré 	risque fort 	risque fort 	risque fort 
>40%	risque faible 	risque modéré 	risque fort 	risque fort 	risque fort 	risque fort 

Le résultat du diagnostic sera augmenté d'un niveau de sensibilité (de faible à modéré, de modéré à fort) par rapport à celui déterminé à partir du tableau ci-dessus si :

- le % en éléments grossiers est < 50 %,
- la texture (0-10cm) est à dominance sableuse ou limoneuse ou est un mélange limon sable.

Selon le résultat du diagnostic, des précautions seront nécessaires pour **limiter la perte de sol au niveau du chantier et pour préserver, le cas échéant, les cours d'eau (voir partie 4.3).**

Le propriétaire ou gestionnaire ou donneur d'ordre fera cette inspection avant le début des travaux, en associant les conducteurs d'engins et/ou bûcherons.

- cours d'eau (rivière, ruisseaux, ru),
- sources,
- mares et mardelles,
- fossés,
- zones humides

Naviguer dans le document



Partie 3 :

Recommandations spécifiques pour la récolte de menus bois et des souches

*Les trois «
le , les et les ,
dans le cadre des opérations de récolte de bois pour
la production de plaquettes forestières.*

*On limitera autant que possible l'exportation de feuillage alors que
la récolte des menus bois et des souches
dépendra des conditions locales.*

*Rappel : les préconisations de gestion à mettre en œuvre reposent sur
les diagnostics préalables (Partie 2)*

Ces mesures sont à prendre sur **tous types de sol, même les plus fertiles**, en raison de l'importance des pertes de fertilité.

On jouera pour cela sur la **période de récolte** dans le cas des essences à feuillage caduque (feuillus et mélèze) et sur la **durée de ressuyage des houppiers** sur la parcelle.

Cette recommandation s'applique aux essences à feuillage persistant et aux essences à feuillage caduque coupées en feuilles.

Le ressuyage doit permettre la chute des feuilles encore présentes et favorisera la chute des plus petits bois (brindilles) fragilisés lors des manipulations de débardage.

Le feuillage doit rester **sur la parcelle** et non sur la place de dépôt. Cela évitera un effet compostage dans les tas en bord de route et contribuera ainsi à une meilleure qualité de la plaquette produite.

Cette durée sera à ajuster au cas par cas, en plus ou en moins, selon les conditions météorologiques, l'essence, l'exposition, et la période d'abattage. **La chute effective des feuilles prime sur la durée recommandée !**

- ➔ Les javelles regroupant les arbres entiers après abattage par un feller-buncher ou une tête à cisaille sont à disposer **à proximité des cloisonnements**. Les éléments minéraux apportés par le feuillage seront certes concentrés à proximité des cloisonnements mais resteront sur la parcelle à portée des racines du peuplement.

Les arbres abattus en feuilles doivent ressuyer de l'ordre de 3 mois pour que le feuillage tombe au sol. Cela peut amener à réaliser les opérations d'abattage en été, en général en période de sols portants, et celles de débardage 3 mois plus tard en automne, quand les sols sont moins portants. La protection physique des sols doit aller de pair avec le respect de la fertilité des sols en planifiant l'ensemble des opérations et choisissant une période favorable à une bonne portance des sols, en déposant une couche de branches sur les cloisonnements (en particulier sur les sols sensibles au tassement et à l'orniérage).

Le temps entre deux récoltes doit permettre au sol de recharger ses stocks de nutriments.

➔ Dans la vie d'une *futaie régulière* ou d'un *taillis-sous-futaie*, **focaliser les récoltes de menus bois lors des dépressages – 1^{ères} éclaircies** (arbres entiers) **ou les coupes définitives** (houppiers entiers). Lors des autres coupes (coupe d'amélioration, autres éclaircies), procéder de préférence par récolte du **bois fort** uniquement.

➔ Pour les autres types de peuplements, *futaie irrégulière* et *taillis*, veiller à bien laisser au moins 15 ou 30 ans (selon la sensibilité des sols) entre deux récoltes des menus bois.

L'utilisation des **menus bois disposés dans les cloisonnements** permet d'assurer la protection physique des sols dans les cloisonnements lorsque l'état de portance du sol le nécessite. Dans ce cas de figure, les menus bois sont souillés et leur récolte n'est plus envisageable.

Les proportions proposées (1/10^{ème}, 2/10^{èmes}, 3/10^{èmes}) permettent de s'assurer que les réserves du sol pourront compenser l'exportation de nutriments et de garantir le maintien de la fertilité.

Tableau 4 : Proportion de menu bois à laisser sur coupe en fonction du statut de biodiversité et de la sensibilité du sol à l'exportation minérale.

Statut de protection de la biodiversité*	Sensibilité des sols à l'exportation minérale**		
	Faible	Modérée	forte
Pas de statut particulier	Laisser au moins 1/10^{ème} de menus bois	Laisser au moins 3/10^{èmes} de menus bois	Récolte de menus bois déconseillée***
Statuts intermédiaires	Laisser au moins 2/10^{ème} des menus bois	Laisser au moins 3/10^{èmes} de menus bois	Récolte de menus bois déconseillée
Statuts forts	Récolte de menus bois fortement déconseillée (lorsque pas déjà interdite)		

* les statuts forts et intermédiaires sont définis dans la partie 2.2, page 21

** les sols de sensibilité « partielle » sont classés à sensibilité forte ou modérée selon le classement expliqué en page 19

*** les conditions d'une éventuelle compensation par fertilisation sont définies ci-après : « Question 3 ».

et al

- ➔ Pour des **sols non sensibles et des zones sans statut de protection de biodiversité**, laisser **1/10^{ème} de menus bois**, ce qui correspond en principe aux pertes d'exploitation habituelles lors des opérations d'abattage et débardage.
- ➔ Lors de **récolte de petits arbres entiers** (1^{ères} éclaircies, coupes de relevés de couvert, coupes de taillis) : laisser 2 ou 3/10^{èmes} des houppiers dans la parcelle (tableau 4). A la cisaille, procéder à l'abattage en 2 temps : à mi-hauteur puis à la base. Laisser 2 ou 3/10^{èmes} des houppiers ainsi coupés qui ne seront pas ramassés lors du débardage. Ces petits houppiers pourriront vite et ne gêneront pas les opérations à suivre.
- ➔ Cas des **coupes définitives et coupes d'ensemencement** : pour démembrer les houppiers entiers lors de leur récolte (à la cisaille, au croq'souche, au grappin découpeur), procéder à une découpe à 7 cm de diamètre pour laisser les menus bois au sol.
- ➔ Pour le laps de temps à laisser entre 2 récoltes : on fera particulièrement attention au **délai entre la coupe d'ensemencement et la 1^{ère} éclaircie** si une récolte des menus bois est envisagée dans les 2 cas.
- ➔ **Le respect du délai de ressuyage entre abattage et débardage est important** : il permet de rendre les brindilles cassantes et de faciliter leur chute au sol lors de la saisie des bois au débardage.
- ➔ **Lors du débardage, ne ramasser que les javelles ou andains, et laisser les branches isolées sur le parterre de coupe.**
- ➔ **Consigner dans les documents de gestion les informations de récoltes réalisées pour permettre un suivi dans le temps.**



Une compilation mondiale d'expériences portant sur la récolte de rémanents ligneux et des feuillages (projet RESOBIO) a montré que les effets négatifs de la récolte de feuillage sont assez durables, d'où la recommandation de ne pas exporter de feuillage. Concernant la récolte de rémanents ligneux, les effets négatifs tendent généralement à s'estomper à partir de 10-15 ans. Cependant, les données disponibles dans la littérature scientifique ne sont pas suffisantes pour décliner cette durée par classe de sensibilité des sols. Sur la base de simulations effectuées par l'INRA et l'ONF (cf. question 2 et annexe 1), il est recommandé de laisser un laps de temps d'au moins 15 ans entre deux récoltes pour les sols peu sensibles, et de 30 ans pour les sols moyennement sensibles.



: les données expérimentales sur les effets de proportions variables de menus bois laissées au sol font pratiquement défaut, les expérimentations comparant généralement les taux de 0 % et 100 %. C'est pourquoi les seuils ont été établis à l'aide de d'exportation de nutriments par récolte de menus bois. La quantité d'éléments nutritifs (Ca, Mg, K, N et P) exportée par essence, par niveau de biomasse et par type de récolte (arbre entier sans feuillage vs. bois de tige) a été établie sur la base des travaux d'Achat et al. (2015a) dans le cadre du projet RESOBIO. Les quantités d'éléments minéraux exportées ont ensuite été comparées aux quantités disponibles dans le sol (couche 0-10cm des sols du réseau 16 km x 16 km de suivi des dommages forestiers). Les simulations ont mis en évidence que :

- pour les , la proportion de menus bois laissée au sol peut être faible, de l'ordre de , sans risque fort pour la fertilité, à l'exception des forêts à statut de protection intermédiaire (voir ci-dessous).
- pour les , les risques de perte de fertilité deviendraient importants si le taux de menus bois laissés au sol passait en deçà de .
- pour les , le taux de menus bois qu'il faudrait laisser sur place serait très élevé, au minimum 90 %. Il n'est pas possible d'envisager une coupe dans ces conditions sans compensation (voir question 3 ci-après). La récolte des menus bois est déconseillée pour ces sols.

Des informations plus détaillées sur les simulations numériques sont présentées en

si l'effet d'une exportation de menus bois sur la biodiversité est assez bien documenté, les proportions de menus bois à laisser pour préserver la biodiversité dans les différentes conditions de milieu sont assez mal étayées. Globalement, on considère que les menus bois sont les compartiments les plus importants pour la fertilité alors que pour la biodiversité les menus bois sont importants mais probablement moins que les pièces de bois plus grosses.

- : on considère que les proportions de menus bois laissées au sol en lien avec la sensibilité des sols () sont suffisantes ;
- : on part du principe que ces sites hébergent un cortège singulier d'espèces et qu'il faut essayer de limiter les perturbations du milieu dans lequel ces espèces (parmi lesquelles les espèces liées au bois mort) se sont développées. Cela conduit à préconiser le relèvement (de 10 % à) de la proportion de menus bois à laisser en sols peu sensibles à l'exportation minérale, alors que le taux de est estimé suffisant pour les organismes dépendant du bois mort dans les sols moyennement sensibles ;
- pour la biodiversité : la récolte de menus bois est fortement déconseillée dans tous les cas (elle est d'ailleurs le plus souvent interdite).

On note que, toute considération de zonage de protection de biodiversité mise à part, la majorité de préconisations des guides étrangers préconisent le plus souvent de laisser entre 20 et 33 % des menus bois dans le cadre de la gestion du bois mort. Ces guides ne sont pas non plus fondés sur des arguments scientifiques imparables (par exemple une base expérimentale) sur les seuils choisis.



Le Guide ADEME 2006 conditionnait la récolte de menus bois sur les sols les plus sensibles à une restituant 1,5 fois la quantité de nutriments exportée. Cette mesure a été peu mise en œuvre, sans doute pour des raisons à la fois techniques et économiques (le coût de la fertilisation étant jugé élevé par rapport à la biomasse récoltée). En outre, il est nécessaire de prendre en compte le fait que la fertilisation apporte des nutriments, mais ne compense pas la perte de matière organique causée par la récolte de biomasse.

Pour définir les conditions opérationnelles d'une , un diagnostic peut être mis en œuvre avec l'outil REGESOL. C'est un outil d'aide à l'estimation des besoins en nutriments (N, P, K, Ca, Mg) pour bon nombre d'essences forestières (épicéa, pin, douglas, chêne, hêtre...), dans différentes conditions stationnelles. Le calcul des besoins de correction de la fertilité chimique des sols forestiers s'appuie sur les stocks disponibles dans les sols, les cycles biogéochimiques et la sylviculture pratiquée. A ce jour, les expertises sont réalisées par l'INRA (Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers UR1138).

Il serait intéressant de développer régionalement des compétences dans ce domaine, avec l'appui de la recherche. Il est également aujourd'hui nécessaire de continuer les travaux de recherche initiés sur le pour développer un savoir-faire dans ce domaine si la réglementation devait évoluer.

Contrairement à la récolte des menus bois, pratiquée à plusieurs stades de développement des peuplements, sur diverses essences et dans l'ensemble du territoire métropolitain, la récolte des souches est spécifique :

- ses produits sont réservés à des unités industrielles spécifiques, les chaufferies classiques n'étant pas en mesure de les utiliser ;
- elle est pratiquée une seule fois au cours de la vie du peuplement, après coupe rase ;
- elle concerne principalement des peuplements de pin maritime, dans des sols à forte teneur en sable, ce qui facilite l'extraction des souches ;
- elle limite la propagation du *fomes*¹⁵ dans les peuplements de pins infestées ;
- elle est surtout mise en œuvre dans le cadre de la préparation de terrain, et présente l'intérêt, pour les sylviculteurs, de diminuer le coût des reboisements.

On comprend dès lors que cette pratique, limitée pour l'essentiel aux Landes de Gascogne, n'a pas vocation à se généraliser. Là où elle est mise en œuvre, les précautions suivantes doivent être prises.

Ne pas pratiquer le dessouchage en coupes d'éclaircie sauf en cas de nécessité sanitaire (pourridiés racinaires), ceci d'autant que l'extraction des souches lors d'une éclaircie pourrait endommager les racines des arbres restant en place.

Les risques de pertes de fertilité et de carbone d'un sol augmentent avec la proportion de sol perturbée, et l'essentiel de la biomasse du système racinaire d'un arbre est dans (ou à proximité) de la souche.

Extraire les souches à partir de sols à texture fine (dominance de limons ou d'argiles) constitue un fort risque d'export de particules de sol finement liées aux racines, de déformation du sol (sols moins drainants et donc plus souvent humides que les sols à texture grossière) et par conséquent de perte de fertilité physique et chimique.

De préférence dans des zones définies ne compliquant pas les travaux de reboisement : autour des îlots de feuillus ou de vieux bois, en bord de fossés ou des cours d'eau, souches de feuillus,.....

- ➔ Dans les propriétés disposant d'un document de gestion durable, les zones où peuvent être laissées prioritairement les souches pourront être indiquées en fonction d'autres enjeux environnementaux.

¹⁵ Le fomes est un champignon racinaire qui est capable de provoquer d'importantes pourritures du bois de cœur surtout chez les épicéas, et des mortalités disséminées ou en rond chez tous les résineux.

(tableau 5)

Eviter d'extraire les racines traçantes et les racines fines.

Employer autant que possible une technique permettant de n'extraire que la racine pivot et de la base des racines pivotantes. En pratique, plus on veut limiter l'extraction de racines fines, plus il faut se cantonner à la partie proche de la souche.

Tableau 5 : Modalités d'extraction des souches en fonction du statut de protection de la biodiversité du site considéré et de la sensibilité des sols à l'exportation d'éléments minéraux.

Statut de protection de la biodiversité	Sensibilité des sols à l'exportation d'éléments minéraux**		
	Faible	Modérée	Forte
Pas de statut particulier*	En cas de récolte de biomasse souterraine, n'extraire que : - la souche, - la racine pivot, - les bases des grosses racines, - les grosses et moyennes racines	En cas de récolte de biomasse souterraine, n'extraire que : - la souche, - la racine pivot, - les bases des grosses racines	En cas de récolte de biomasse souterraine, n'extraire que : - la souche, - la racine pivot
Statuts intermédiaires (1)	Récolte de souches déconseillée (2)		
Statuts forts	Récolte de souches fortement déconseillée (lorsqu'elle n'est pas déjà interdit)		

* les statuts forts et intermédiaires sont définis dans la partie 2.2, page 21

** les sols de sensibilité « partielle » sont classés à sensibilité forte ou modérée selon le classement expliqué en page 19 (1) voir page 22 la liste des espaces concernés.

(2) Parmi les sites Natura 2000, il faut distinguer les habitats forestiers fermés (dans lesquels la récolte de souches est déconseillée) et les milieux ouverts où différentes interventions, y compris le dessouchage, peuvent éventuellement avoir leur place.

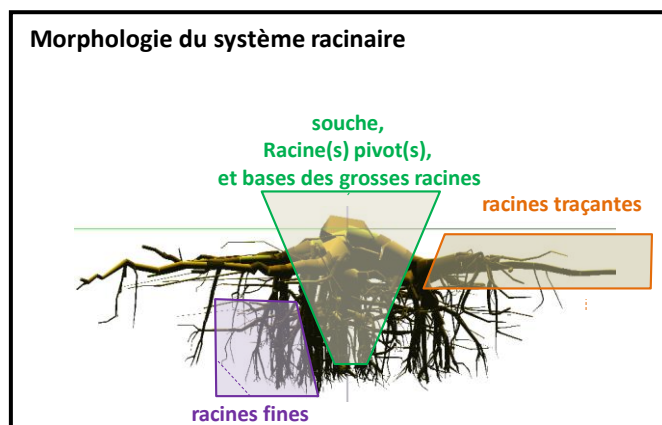


Figure 6 : Morphologie du système racinaire (source : L. Augusto d'après F. Danjon, INRA)



La justification est la même que pour la proportion de menus bois à laisser sur les coupes : pour les sites à statut intermédiaire vis-à-vis de la biodiversité, le principe retenu est que plus une zone a un cortège d'espèces singulier, plus il faut essayer de limiter les perturbations du milieu dans lequel ces espèces ont pu se développer. Dans ces zones, il est cohérent d'augmenter la rétention de tous types de bois mort (ici les souches) au profit de la biodiversité, dont une partie conséquente dépend du bois mort. Une alternative serait de laisser un taux plus élevé de souches (que 10 %) mais cela se heurterait à des difficultés pratiques et économiques.

Partie 4 :

Recommandations communes à toute récolte de bois

Cette partie propose des recommandations qui s'appliquent à tous les types de récolte (bois-énergie ou autre).

Il s'agit notamment de veiller à :

- (1) préserver les supports de biodiversité (vieux bois, bois morts, espèces secondaires, dont les fruitiers),*
- (2) gérer le risque d'érosion et de tassement des sols et*
- (3) préserver les eaux et zones humides.*

Les recommandations qui suivent s'appliquent à **tous les types de coupe, dont les coupes des menus bois ou des souches à des fins énergétiques**

Ces recommandations sont à mettre en œuvre sauf en cas de contre-indication sanitaire prioritaire. Ainsi, en cas d'attaque par le nématode du pin (non présent en France à l'heure actuelle), les consignes européennes et ministérielles sont de ne laisser aucun arbre mort pouvant contaminer les arbres vivants, et, ainsi, de broyer tous les arbres dépérissants ou morts.

- chandelles,
- chablis isolés,
- gros bois morts au sol (pièces de diamètre supérieur à 20 cm),
- souches préexistantes,
- îlots comportant de grosses quantités de bois morts (peuplement après tempête, dépérissant ou sans récolte depuis plusieurs décennies).

NB : les arbres morts abattus pour des raisons de sécurité restent sur place

- arbres isolés à cavités, gros ou vieux (sauf incompatibilité avec la sécurité du chantier),
- îlots de gros et vieux arbres vivants dans les peuplements en contenant en abondance : ils seront d'au moins 0,5 ha et pourront être nettement plus grands si les conditions s'y prêtent).
- sous forme d'arbres isolés ou en bouquets, le plus souvent possible
- on pourra également localiser, si les conditions s'y prêtent, les îlots non exploités autour de ces essences

¹⁶ PEFC, 2017. Règles de la gestion forestière durable – Exigences pour la France métropolitaine. Août 2017 PEFC/FR ST 1003-1 : 2016 (voir pp. 11-13) <https://www.pefc-france.org/media/2017/09/03-PEFC-FR-ST-1003-1-2016-regles-de-la-gestion-forestiere-durable-exigences-pour-la-france-metropolitaine.pdf>

¹⁷ FSC France, 2017. Référentiel FSC pour la gestion responsable des forêts françaises, version 1.0 <https://fr.fsc.org/preview.rfrentiel-de-gestion-forestire-france-metropolitaine-fsc-std-fra-01-2016.a-541.pdf>

Le matériel (débardeur, porteur) doit être adapté à la sensibilité diagnostiquée des sols (Partie [2.3](#)) (taille de machine et de pneumatiques adaptés, tracks sur sols sensibles).

Note : de nouveaux matériels de débardage à faible impact au sol pourraient être mis au point dans un avenir proche.

Les engins s'y déplaceront systématiquement, y compris dans les coupes rases.

Ces bois disposés sous les roues des engins diminueront le tassement et l'orniérage. Ils ne seront alors plus exploitables.

Les facteurs de texture et de pierrosité ont été préalablement diagnostiqués (voir la phase diagnostic, Partie [2.3](#)).

Les facteurs de pluviosité et d'humidité du sol doivent être suivis durant la période prévue pour le chantier.

Les parcelles sensibles sont à exploiter en priorité lorsque le sol est sec ou gelé.

Abattage et débardage (espacés d'un temps de ressuyage) doivent se faire hors des périodes de sensibilité du sol au risque de tassement.

Se référer au guide [PRATIC'SOLS \(2017 p19\)](#).

A noter : les mesures de prévention de l'érosion sont détaillées dans la partie suivante, en lien avec la préservation de la qualité des eaux et des zones humides en forêt)

¹⁸ Guide PROSOL : http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++e69/@@display_media.html

Guide PRATIC'SOL : http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++5f39/@@display_media.html

Laisser des menus bois dispersés au sol

- d'autant plus que le sol est pentu, sensible à l'érosion (voir Tableau 3), à forte composante de sable et limons dans les 10 premiers cm, et que la végétation est peu couvrante après la coupe,
- ne pas descendre en dessous de 2/10^{ème} des menus bois laissés au sol si la pente est supérieure à 25 %.

Laisser des souches

- au moins 1/10^{ème}, bien réparties au sein de la parcelle,
- récolte déconseillée en cas de pente supérieure à 25 %.

Limiter la taille des coupes rases

- la surface maximale de référence suggérée est de 2 à 5 ha en situation de pente (≥ 30 %, préconisations PEFC).

Afin de préserver des berges stables, d'éviter de mettre de la terre dans les cours d'eau, et de préserver des habitats sensibles, on prendra les précautions suivantes **sur une bande d'au moins 5 m** :

Ne pas faire circuler d'engins au bord du cours d'eau

- élargir la bande à 10 ou 15 m selon la pente et le type d'engins.

Préserver un cordon végétal autour du cours d'eau

- la distance de référence suggérée est 5-10 m.

Là où un dessouchement peut s'envisager (cf. partie 3.3), ne pas dessoucher au bord du cours d'eau.

Ne pas exploiter lorsque le sol est saturé d'eau

Ne pas circuler à proximité des zones humides

- 10 à 30 m, selon le contexte,
- effectuer les abattages directionnels en évitant les zones sensibles.

¹⁹ « Sylviculture et cours d'eau - guide des bonnes pratiques », PDF en ligne : <https://bit.ly/1QG0iD0>

²⁰ « Règlement national d'exploitation forestière » de l'ONF, PDF en ligne : <https://bit.ly/2LgROXK>

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
CNPF	Centre National de la Propriété Forestière
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière
DDT	Direction Départementale des Territoires
DRAAF	Direction régionale de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt.
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ECOFOR	Groupement d'intérêt public ECOFOR (Ecosystèmes forestiers)
FCBA	Institut technologique Forêt, Cellulose, Bois-construction et Ameublement
GCF	Groupe Coopération Forestière
FSC	Forest Stewardship Council (certification)
IFN	Inventaire Forestier National
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
INPN	Inventaire National de Patrimoine Naturel
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ONF	Office National des Forêts
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (programme de Reconnaissance des Certifications Forestières)
PNFB	Plan National de la Forêt et du Bois (2016-2026)
SRCE	Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique

- Achat D.L., Deleuze C., Landmann G., Pousse N., Ranger J., Augusto L., 2015a. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 348, 124–141 [*résultats du projet RESOBIO*]
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042>
- Achat D., 2015b. Rapport 1. Analyse bibliographique des impacts du prélèvement des rémanents forestiers sur la fertilité des sols et la croissance des peuplements. In : Landmann G. et Nivet C. (coord.). *Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité*. Angers : ADEME, Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire, et de la forêt – GIP Ecofor. Rapport final, pp 65-167 [*rapport final du projet RESOBIO*]
<http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Rapport%20final%20Resobio%20-%202014-06-28.pdf>
- Archaux F., Paillet Y., 2017. Biodiversité et naturalité anthropique. *Rendez Vous Techniques* (ONF), 56, 40-43.
http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++660d/@display_media.html
- Augusto L. et Pousse N., 2018, Insensé, INDicateurs de SENSibilité des Écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse rapport final de projet Étude financée avec le soutien de l'ADEME (programme REACTIF), 270 p. [*rapport final du projet INSENSE*]
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/insense_indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestier-2018-rapport.pdf
- Augusto L., Pousse N., Legout A., Seynave I., Jabiol B., Levillain J., 2018. INSENSE : Indicateurs de SENSibilité des Écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse. Livret terrain de diagnostic. 23 pages. [*livret de terrain INSENSE*]
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/insense_indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestier-2018-outil.pdf
- Brin A., Bouget C. Valladares L., Brustel H., 2012. Are stumps important for the conservation of saproxylic beetles in managed forests? – Insights from a comparison of assemblages on logs and stumps in oak-dominated forests and pine plantations. *Insect Conservation and Diversity*
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-4598.2012.00209.x>
- 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.
- Cacot E., Eisner N., Charnet F., Léon P., Rantien C., Ranger J., 2006. La récolte raisonnée des rémanents en forêt. Guide pratique, ADEME, AFOCEL, IDF, INRA, Union de la Coopération Forestière Française. 36 p.
<https://www.ademe.fr/recolte-raisonnee-remanents-foret>
- Ecke F, Löfgren O, Sörlin D. 2002. Population dynamics of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. *Journal of Applied Ecology* 39(5): 781-792
- Ecuvillon S. et Mennessier V. (coord.) 2014. Sylviculture & cours d'eau. Guide des bonnes pratiques. 58 p.
http://www.correze.gouv.fr/content/download/9805/68032/file/Version_definitive_basse_definition_08-07-2014_Guide_bonnes_pratiques_sylviculture_et_cours_eau.pdf
- FSC France, 2017. Référentiel FSC pour la gestion responsable des forêts françaises, version 1.0
<https://fr.fsc.org/preview.rfrentiel-de-gestion-forestiere-france-metropolitaine-fsc-std-fra-01-2016.a-541.pdf>
- Gosselin M. et Paillet Y., 2017 (2^e éd.). Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière, ed. Quae, Versailles, 160 p.
http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Guide_PFB.pdf (1^{ère} éd.)
- Landmann G., Achat D., Augusto L., Bigot M., Bouget C., Boulanger V., Cabral A.-S., Cacot E., Deleuze C., Gibaud G., Nivet C., Pousse N., Richter C., Saint-André L., Thivolle Cazat A., Zeller B., 2015. *Projet RESOBIO. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Synthèse de l'étude RESOBIO*. Angers : ADEME, Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor, 24 p. [*synthèse du projet RESOBIO*]
http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese_resobio_2015-09.pdf
- Landmann G., Nivet C. (coord.), 2014. *Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité*. Angers : ADEME, Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire, et de la forêt – GIP Ecofor. Rapport final, 243 p. [*rapport final RESOBIO*]
<http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Rapport%20final%20Resobio%20-%202014-06-28.pdf>

LTECV, 2015 LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385&categorieLien=id>

Michaels N., 2018. Production de bois-énergie et impacts sur la biodiversité européenne. Synthèse de l'article "Bouget, Lassauce et Jonsell (2012) - Effects of fuelwood harvesting on biodiversity - a review focused on the situation in Europe", Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, Paris. http://www.fondationbiodiversite.fr/images/documents/Comprendre_la_biodiv/Foret_BioEnergie.pdf

ONF, 2009. Instruction N° INS-09-T-71 Conservation de la biodiversité dans la gestion courante des forêts publiques, 11 p. http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_m2_ONF_biodiv.pdf

Pischedda D. (coord.), 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL », FCBA, ONF, 110 p. <http://www.onf.fr/outils/medias/20091203-145811-606852/++files++/1>

Pischedda D., Helou T.E (coord.), 2017. PRATICSOLS, Guide sur la praticabilité des parcelles forestières. ONF, Entrepreneurs des territoires. 44 p. <http://www.onf.fr/outils/medias/20171215-082053-623548/++files++/1>

PEFC, 2017. Règles de la gestion forestière durable – Exigences pour la France métropolitaine. Août 2017 PEFC/FR ST 1003-1: 2016 (voir pp. 11-13) <https://www.pefc-france.org/media/2017/09/03-PEFC-FR-ST-1003-1-2016-regles-de-la-gestion-forestiere-durable-exigences-pour-la-france-metropolitaine.pdf>

PNFB, 2017. Plan national sur la forêt et le bois 2016-2026. Ministère de l’agriculture et de l’alimentation, Paris, 46 p. + annexes <http://agriculture.gouv.fr/telecharger/86026?token=24f71aceb85a58eb333a78dc38ffa95a>

Riffell S, Verschuyt J, Miller D, Wigley TB. 2011. Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity — a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261(4): 878-887

SNMB, 2018 Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse, 78 p. + annexes <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20de%20Mobilisation%20de%20la%20Biomasse.pdf>

En gris : termes les plus importants dans le contexte de ce document

Age d'exploitabilité : durée du cycle sylvicultural d'une essence ou âge auquel les arbres au stade de la régénération peuvent être exploités, compte tenu des objectifs.

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

Andains : alignements de rémanents d'exploitation, de défrichement et de débroussaillage sur le terrain. (Opération : mise en andain ou andainage).

Abatteuse-groupeuse : machine réalisant l'abattage des arbres et leur regroupement au fur et à mesure dans la tête d'abattage grâce à des bras accumulateurs, jusqu'à constituer une javelle qui est posée à terre. L'organe de coupe peut être un disque, une scie à chaîne, une cisaille ou toute autre lame coupante.

Biodiversité, ou diversité biologique : désigne la variété et la variabilité du monde vivant sous toutes ses formes. La biodiversité existe à différents niveaux d'organisation interdépendants qui s'emboîtent : la diversité des gènes, la diversité des espèces et la diversité des écosystèmes. À cela s'ajoute la diversité des interactions à l'intérieur des trois autres niveaux et entre eux, et la diversité fonctionnelle, c'est-à-dire la diversité des caractéristiques fonctionnelles des organismes, indépendamment des espèces auxquelles ils appartiennent.

Biomasse : masse totale des êtres vivants subsistant en équilibre sur une surface donnée de sol. La biomasse forestière inclut l'ensemble de la végétation (herbacée, arbustive, arborée). On distingue la biomasse souterraine (racines et souches) et aérienne (troncs, branches, brindilles et feuillage).

Bois bûche : morceau de bois débité en rondin ou en quartier, le plus souvent utilisé pour le chauffage.

Bois-énergie (BE) : bois destiné à l'énergie sous forme de bûches ou de plaquettes. Dans le contexte de ce document, il désigne uniquement le bois ébranché ou non, exploité sous forme de billon, arbre entier ou cimes et destiné au déchiquetage en plaquette forestière ou granulé de bois (ou pellet).

Bois d'œuvre (BO) : bois destiné au sciage, au tranchage, et au déroulage, ébranché et façonné en billons ou en long.

Bois d'industrie (BI) : bois rond en principe non apte au sciage, déroulage ou tranchage, et normalement destinés à des emplois industriels (poteaux, bois de mines, panneaux, pâte à papier...), ébranché et façonné en billons.

Cloisonnement : ouverture linéaire (plus ou moins large) dans des peuplements pour faciliter, soit les travaux d'entretien, soit les travaux sylvicoles (cloisonnement sylvicole), soit les exploitations (cloisonnement d'exploitation).

Cycle biogéochimique : en écologie et plus généralement en sciences de la Terre, désigne le processus de transport et de transformation cyclique d'un élément ou composé chimique entre la géosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère, dans lesquels se retrouve la biosphère

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

Dépôts atmosphériques : arrivée de composés provenant de sources multiples naturelles ou anthropiques, en suspension dans l'atmosphère sous forme d'éléments dissous, gaz ou particules, et se déposant sur le sol et les végétaux.

Eclaircie : coupe réduisant le nombre de tiges. L'éclaircie est généralement une coupe d'amélioration réalisée dans un peuplement régulier dans le but de favoriser la stabilité, la dominance et la croissance soutenue des tiges d'avenir.

Éléments minéraux : éléments qui entrent dans la composition des plantes, à l'exclusion de l'oxygène, l'hydrogène et le carbone, et sont puisés dans le sol par les racines. Ils sont indispensables à la vie et à la croissance des arbres (**voir nutriments**).

Fertilité d'un sol : aptitude d'un sol à produire dans les conditions actuelles de culture. Elle est une des composantes de la qualité des sols. Il n'existe pas de définition consensuelle de la fertilité des sols.

Fertilisation : apport d'éléments chimiques dont le sol est carencé, réalisé dans le but d'améliorer la fertilité (est utilisée seule ou en complément d'un amendement).

Flore vasculaire : regroupe les plantes à graines (arbres, arbustes, herbacées) et les fougères, caractérisées par la présence de racines et de vaisseaux qui permettent la circulation de la sève.

Granulométrie : la granulométrie a pour objet la mesure de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains de substances diverses, telles que farines, poudres, sables, etc., et la définition des fréquences statistiques des différentes tailles de grains dans l'ensemble étudié.

Horizon du sol : en pédologie, qualifie une couche de sol qui se distingue des autres par ses caractéristiques physicochimiques et biologiques. L'horizon pédologique, ou horizon d'un sol, est une couche de sol homogène et sensiblement parallèle à la surface, constitué de plusieurs strates (ou couches) de natures et épaisseurs différentes.

Horizon organo-minéral : horizon contenant en mélange de la matière organique et de la matière minérale.

Javelle : tas de perches de petite ou moyenne importance.

Limon : ensemble des minéraux présentant une taille granulométrique comprise entre 2 et 50 µm. Divise en limons fins (2-20 µm) et limons grossiers (20-50 µm). Matériau : formation géologique dont la fraction 2-50 µm est majoritaire.

Litière : couche la plus superficielle des sols forestiers constituée de l'accumulation des chutes répétées de débris végétaux (feuilles ou aiguilles mortes, branches, bourgeons, etc.) des arbres et du sous-bois aussi appelée « couche d'humus ». La litière est définie comme étant entièrement organique (« holorganique »), c'est-à-dire avec pas/peu de grains minéraux. C'est ce caractère organique qui donne son nom pédologique à la couche de litière (couche « O »).

Mardelle : enfoncement de terrain de quelques mètres sur un plateau. L'origine est soit périglaciaire, créée par la fonte d'une loupe de glace; soit karstique, créée par une dissolution de la roche sous jacente.

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

Nutriment : substance chimique simple ou composée nécessaire à la croissance des plantes et des animaux. Du point de vue de la botanique et de l'écologie, les **nutriments** de base sont l'oxygène, l'eau et les **minéraux** nécessaires à la vie des plantes, qui par photosynthèse, incorporent la matière vivante (voir éléments minéraux).

Ornière : trace plus ou moins profonde créée par les roues des engins forestiers dans les sols. L'importance et la forme de l'ornière dépendent du poids de l'engin, de la nature du matériau et de son taux d'humidité.

Parterre de coupe : partie du terrain d'une parcelle forestière passée en exploitation.

Plaquette forestière : fragments ou copeaux de bois obtenus par déchiquetage ; la plaquette forestière est le résultat du broyage par des engins mécanisés (broyeurs à couteaux) des rémanents d'une exploitation forestière ou de bois de faible diamètre ou valeur. La plaquette forestière constitue, avec la bûche classique, la briquette, le granulé de bois (ou pellet), la plaquette d'industrie, le broyat de bois recyclé et l'écorce broyée, un des modes de valorisation en bois énergie de la biomasse forestière.

Porteur : engin doté d'un plateau et d'une grue permettant le débardage des bois par portage

Reboisement : ensemble d'opérations recréant sur une surface forestière donnée un nouvel état boisé. Le reboisement ne correspond pas à une extension de la forêt, à la différence du boisement.

Recyclage des éléments minéraux : renseigne sur la quantité d'éléments nutritifs absorbée par une culture et retournée au sol grâce à l'exsudation, la chute des feuilles et le recyclage des résidus.

Régénération : Renouveau d'un peuplement par voie sexuée. On distingue la régénération naturelle obtenue à partir de semenciers du peuplement en place et la régénération artificielle obtenue par semis ou plantation.

Relevé de couvert : coupe de sous-étage (taillis) sous un couvert d'arbres adultes visant à déclencher la régénération naturelle : coupe de sous-étage (taillis) sous un couvert d'arbres adultes visant à déclencher la régénération naturelle (la majorité des arbres adultes est conservée en qualité de semenciers tandis que la récolte de certains autres va mettre en lumière le sol pour favoriser le développement des semis naturels).

Rémanents : résidus d'exploitation forestière non marchands laissés sur le parterre de coupe, après prélèvement des compartiments d'intérêt (grumes, surbilles de tiges). Ils regroupent les branches de diamètre inférieur à 7 cm (menus bois) et, par extension, les chutes de découpe, le feuillage et les souches. Ils comprennent également certaines tiges et branches de diamètre supérieur à 7 cm non valorisés.

Ressuyage : temps de séchage à l'air libre des bois en forêt après abattage pour réduire le taux d'humidité . Dans le cas de l'exploitation du bois-énergie et le contexte de ce guide, le ressuyage s'effectue selon les cas sur le parterre de coupe dans la parcelle avant débardage ou sur la place de dépôt ou pour partie sur les deux.

Roche-mère : roche qui a donné naissance par altération et pédogénèse au sol sus-jacent. Correspond à l'horizon R (roche-mère peu altérée) et l'horizon C (roche en cours d'altération).

Sable : ensemble des minéraux présentant une taille granulométrique comprise entre 0,05 et 2 mm (50- 2000 μm). On distingue les sables fins (50-00 μm) et les sables grossiers (200-2000 μm). Un matériau meuble formé majoritairement de grains de la taille des sables (calcaire ou siliceux), tel que celui des dunes ou des plages par exemple..

Saproxylique : organisme qui dépend, au cours de son cycle de vie, du bois mort ou moribond – debout ou à terre – ou des champignons du bois, ou de la présence d'autres organismes directement associés à ces substrats.

Sol de surface : couche sous-jacente de la couche de litière. A ce titre, elle est riche en matières organiques (issues de la décomposition/lessivage des litières, ainsi que du renouvellement constant des racines fines des plantes (racines fines fortement présentes dans le sol de surface). Le sol de surface est donc un mélange de matières organiques et de grains minéraux. Il fait de quelques cm à quelques dcm d'épaisseur, en fonction du sol, et est généralement de couleur noire ou sombre.

Sol profond : couches sous-jacentes à l'horizon organo-minéral. Notées le plus souvent S et C en pédologie (cf. le référentiel pédologique de l'association française pour l'étude du sol pour plus de détails), ce sont des horizons bien moins riches en matières organiques. Ils sont de couleur variable en fonction de leur composition minéralogique et des conditions environnementales locales.

Tassement : correspond a une diminution du volume d'un matériau par suite d'efforts de compression verticaux. Cette perte de volume est due à une réduction de la porosité du matériau avec expulsion de l'air. Il s'ensuit une augmentation de la masse volumique du matériau. La sensibilité d'un sol au tassement dépend de sa texture et de son taux d'humidité. Aux faibles humidités, le sol est peu sensible aux effets du compactage ; à un taux d'humidité voisin de la limite de plasticité, la déformation apparait et la compacité augmente, elle atteint son maximum au voisinage de la limite de liquidité.

Tête à cisaille : outil fixé sur le bras d'une pelle hydraulique permettant l'abattage, le groupage et la découpe des arbres mais pas l'ébranchage.

Texture : composition granulométrique simplifiée d'un sol, pouvant être apprécié par des critères de terrain, visuels et/ou tactiles permettant d'attribuer au sol une classe texturale.

Tracks (mot anglais signifiant « chenilles ») : semi-chenilles métalliques que l'on peut monter sur les deux roues d'un même bogie afin d'augmenter la surface de contact au sol et donc de réduire la pression qui s'y exerce.

Ubiquiste : espèce pouvant se développer dans des habitats variés.

Annexe 1

CALCUL DU POURCENTAGE DE MENUS BOIS EXPORTABLES PAR CLASSE DE SENSIBILITE DES SOLS A UN EXPORT SUPPLEMENTAIRE DE BIOMASSE

Noémie Pousse¹, Laurent Augusto², Arnaud Legout², Christine Deleuze¹,
Laurent Saint-André², Nicolas Bilot³.

¹. ONF, ². INRA, ³. GCF

Note technique

établie dans le cadre du projet Gerboise
8 octobre 2018

Des simulations numériques d'exportation de nutriments par récolte de menus-bois ont été réalisées par l'ONF et l'INRA afin de quantifier les risques encourus en cas d'export de différentes proportions de menus bois pour chacune des 3 classes de sensibilité définies par l'indicateur INSENSE (Augusto *et al.*, 2018). L'approche ne visait pas à traiter tous les cas possibles, mais plutôt à caractériser les seuils critiques d'exports de menus-bois pour chaque classe de sensibilité et pour des cas contrastés en termes de volume de récolte (1^{ière} éclaircie versus coupe finale) et d'essence (espèce frugale versus espèce exigeante).

Achat *et al.*²¹ (2015, projet RESOBIO) présentent [en supplément de leur article](#)²² (extrait de la présentation des modèles présenté plus bas) des modèles permettant d'estimer la quantité de nutriments (Ca, Mg, K, N et P) contenus dans les bois et écorce des compartiments de tige seule et de tige et branches cumulés, à partir de la biomasse sèche de tige, bois et écorce, en TMS/ha.

$$\text{Quantité de nutriments}_{\text{compartiment} \times \text{nutriments}} \text{ (t/ha)} = f(\text{Biomasse de tige (tMS/ha)})$$

La quantité d'éléments minéraux exportés correspond à la différence entre les quantités d'éléments contenus dans le bois et l'écorce du compartiment « tige et branches » et celles du compartiment « tige seule ». Il est certain que les branches totales représentent une biomasse supérieure à celle des menus bois seuls (diamètre < 7cm), surtout pour les peuplements âgés. En revanche nous savons que la concentration en éléments minéraux est bien plus importante dans ces éléments fins que dans le bois (Augusto *et al.*, 2008 ; Wernsdörfer *et al.*, 2014). Dans une première approche, nous avons associés les surcoûts en exports minéraux des branches entières des calculs précédents, au fait de récolter surtout les menus bois de ces branches. Le travail fait ensuite sur les chantiers Gerboise a d'une part validé les calculs allométriques précédents avec des calculs plus complets sur toute une chaîne de modèles (volumes, biomasse et minéralomasse pour tige, houppier et par découpe). Par ailleurs ces calculs plus détaillés nous donnent une idée plus précise de la part menus bois dans l'exportation de branches (sur les 18 chantiers étudiés, l'export des menus-bois représente en moyenne 68 % de la biomasse des branches totales et 88 à 92 % des éléments minéraux).

$$\text{Exports supplémentaires} = \text{branches} = (\text{tige} + \text{branches}) - (\text{tige})$$

²¹ Lien raccourci vers l'article sur le portail ResearchGate : <https://bit.ly/2w9ZDsO>

²² Lien raccourci vers les éléments sur le portail ResearchGate : <https://bit.ly/2nOTbDE>

Tableau 6. Paramètres des modèles d'évaluation des contenus en nutriments pour les compartiments « tige+branches » (S(WB)B) et « tige seule » (S(WB)) pour les deux espèces considérées. Extrait des éléments supplémentaires à l'article Achat (2015)

Nutrient	Components	Model	Parameter a	Parameter b	N_{obs}	R^2	P	Biomass range [†]	Confidence index [‡]
<i>Quercus sp.</i>									
N	S(WB)	$y=ax^b$	6.7645	0.7573	27	0.85	<0.0001	10–240	High
N	S(WB)B	$y=ax^b$	4.1451	0.9689	40	0.94	<0.0001	10–300	High
P	S(WB)	$y=ax^b$	0.5721	0.6974	26	0.63	<0.0001	10–470	High
P	S(WB)B	$y=ax^b$	0.9695	0.7470	30	0.78	<0.0001	10–470	High
K	S(WB)	$y=ax^b$	3.8190	0.7659	27	0.88	<0.0001	10–470	High
K	S(WB)B	$y=ax^b$	5.6453	0.7668	30	0.89	<0.0001	10–470	High
Ca	S(WB)	$y=ax^b$	12.4870	0.7606	22	0.30	0.009	10–470	Moderate
Ca	S(WB)B	$y=ax^b$	18.3890	0.7872	30	0.68	<0.0001	10–470	High
Mg	S(WB)	$y=ax^b$	0.4068	0.8785	21	0.45	0.001	30–470	Moderate
Mg	S(WB)B	$y=ax^b$	1.0088	0.8108	28	0.84	<0.0001	10–470	High
¶ Other model: $y = -0.0039x^2 + 4.6999x + 25.538$ ($R^2 = 0.79$; range of stem biomass = 10–300 Mg ha ⁻¹)									
# Other model: $y = 0.2493x + 10.358$ ($R^2 = 0.62$; range of stem biomass = 50–300 Mg ha ⁻¹)									
<i>Picea abies</i>									
N	S(WB)	$y=ax^b$	1.7360	0.9086	70	0.76	<0.0001	10–360	High
N	S(WB)B	$y=ax^b$	9.3033	0.7139	39	0.73	<0.0001	10–360	High
P	S(WB)	$y=ax^b$	0.2860	0.7971	63	0.54	<0.0001	10–360	High
P	S(WB)B	$y=ax^b$	0.7614	0.7634	35	0.68	<0.0001	10–360	High
K	S(WB)	$y=ax^b$	0.6849	0.9959	63	0.72	<0.0001	10–360	High
K	S(WB)B	$y=ax^b$	1.3383	0.9834	37	0.85	<0.0001	10–360	High
Ca	S(WB)	$y=ax^b$	2.7402	0.8520	62	0.83	<0.0001	10–360	High
Ca	S(WB)B	$y=ax^b$	9.2711	0.6798	37	0.84	<0.0001	10–360	High
Mg	S(WB)	$y=ax^b$	0.2381	0.9226	44	0.90	<0.0001	10–360	High
Mg	S(WB)B	$y=ax^b$	1.1894	0.6877	37	0.83	<0.0001	10–260	High
nd, not determined due to the small number of case studies.									
† Range of stem biomass in which models can be used to estimate nutrient stocks.									
‡ Confidence index based on R^2 values (low: $R^2 = 0.00-0.25$; moderate: $R^2 = 0.25-0.50$; high: $R^2 = 0.50-1.00$).									

On dispose de caractérisations systématiques de sols forestiers français effectuées sur une grille de 16 km x 16 km (réseau de suivi des dommages forestiers, géré par le Département de Santé des Forêts (DSF), Ministère de l'agriculture).

Cette base de données est issue de la campagne de mesure du projet [BioSoil](#)²³ (Joint Research Center, 2016–2017). Ces données ont été collectées et traitées dans le cadre du projet INSENSE (ADEME, 2014–2018) dont le rapport final est disponible [en ligne](#)²⁴. Les stocks d'éléments disponibles ont été calculés à partir des concentrations en azote total, en phosphore assimilable et en calcium, magnésium et potassium échangeables.

Le travail conduit dans le projet INSENSE a conclu que la couche 0–10 cm était le meilleur indicateur de la prépondérance des cycles biologiques auxquels on touche quand on prélève les menus bois et qu'elle était en outre représentative de la sensibilité globale du sol et ci-dessous + document de réponse envoyé.

De plus, la sensibilité des sols à un export de rémanents telle qu'indiquée par les propriétés de surface des sols (concentration en éléments nutritifs de 0 à 10 cm de profondeur) est représentative de la

²³ <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/15905/1/lbna24729enc.pdf>

²⁴ <https://www.ademe.fr/insense-indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestiers-soumis-a-recolte-accrue-biomasse>

sensibilité globale calculée sur l'ensemble du profil (voir p. 222 du rapport INSENSE), sauf dans le cas de sols superficiels (profondeur prospectable < 25 cm), mais ceux-ci ne représentent que 5 % des sols considérés. La prise en compte de la couche de sol 0-10 cm est également pertinente puisqu'elle est un compartiment clé du cycle biologique des éléments nutritifs (recyclage, entre autres, via la chute et minéralisation des litières dont racines, feuilles et menus bois), qui sera directement impacté par un export supplémentaire de biomasse.

L'étude a été faite pour 2 essences (Chêne et Epicéa) et 2 stades pour lesquels la récolte de menus bois est la plus probable, tout en restant dans la gamme de validité commune des modèles pour ces deux essences : premières éclaircies (120 t/ha de biomasse sèche sur pied) et coupe finale (240 t/ha de biomasse sèche sur pied). Les taux de récolte ont été fixés à 1/3 de la biomasse bois fort sur pied pour les premières éclaircies et à 100 % pour la coupe finale. Ces deux essences ont été choisies car l'une est réputée frugale (Epicéa) et l'autre est réputée exigeante (Chêne), leur usage des éléments nutritifs étant ainsi représentative des extrêmes. De plus, pour ces deux essences, la gamme de calibration des modèles est large et similaire, et le niveau de confiance des modèles est satisfaisant.

Trois classes de sensibilité ont été attribuées à chacun des profils de sol du réseau selon leurs concentrations en éléments nutritifs et les seuils définis lors du projet INSENSE. Le projet avait pour objectif de créer des indicateurs de la sensibilité des sols à un export de rémanents qui soient à la fois fiable et simple d'utilisation sur le terrain. Ici, nous avons considéré les classes de sensibilité issues des analyses chimiques de l'horizon de surface afin d'être le plus fiable possible. Nous renvoyons au rapport final du projet INSENSE pour plus de détails sur la méthode de création des indicateurs.

Pour rappel, la sensibilité est déterminée par une combinaison de seuils pour 5 éléments extraits du [livret de diagnostic INSENSE²⁵](#) :

Analyse et seuils préconisés pour chaque élément :

Eléments nutritifs	Méthode d'analyse	unité	sensibilité forte	sensibilité faible
Calcium échangeable	Extraction au chlorure de cobaltihexammine (NF X31-130)	cmol ⁺ kg ⁻¹	< 1.5	> 10
Magnésium échangeable	Extraction au chlorure de cobaltihexammine (NF X31-130)	cmol ⁺ kg ⁻¹	< 0.46	> 1
Potassium échangeable	Extraction au chlorure de cobaltihexammine (NF X31-130)	cmol ⁺ kg ⁻¹	< 0.24	> 0.35
Phosphore total	Extraction à l'eau régale (NF ISO 11466 :1995)	mg kg ⁻¹	< 100	> 200
Phosphore assimilable	Méthode Duchaufour	mg kg ⁻¹	< 23	> 47
Azote total	Combustion sèche (NF ISO 13878 :1998)	g kg ⁻¹	< 1.47	> 2.85

Ce classement établi, les valeurs minimales et maximales des stocks de la couche 0-10 cm pour chaque élément nutritif et chaque classe de sensibilité ont été extraites de la base.

²⁵ https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/insense_indicateurs-sensibilite-ecosystemes-forestier-2018-outil.pdf

Deux approches ont été mise en œuvre pour évaluer les **seuils (pourcentages) maximaux de bois** qu'il est possible d'exporter par classe de sensibilité dans un contexte de gestion durable de la fertilité. Ces approches ont été appliquées à chaque nutriment (seuils élémentaires).

Approche 1 : taux de charge

Principe

On calcule un taux d'exportation relatif à la quantité de nutriments disponibles dans le sol (« charge » du sol)

$$\text{Taux de charge} = \frac{\text{Quantités exportées}}{\text{Quantités disponibles dans sol 0 – 10cm}}$$

Les réserves de l'horizon de surface étant en lien avec le cycle biologique des éléments nutritifs, nous faisons l'hypothèse que dépasser un taux de charge de 1 impliquera un déséquilibre de ce cycle majeur pour les écosystèmes forestiers.

Limites

Le seuil choisi n'a pas été validé par des expérimentations ; il a été estimé raisonnable de ne pas exporter par récolte plus de 100 % des éléments disponibles dans la couche de sol 0-10cm, celle-ci étant un pilier de la fertilité chimique pour bon nombre d'écosystèmes forestiers et un compartiment clé du cycle biologique.

Cet indicateur ne donne pas d'information sur la capacité réelle du sol à compenser une exportation future ; il est cependant mesurable à un temps t par analyse des teneurs en nutriments du sol et de la biomasse exportée.

Approche 2 : taux de recharge

Cette approche est déployée uniquement sur la classe de sensibilité forte pour tous les éléments nutritifs et sur la classe de sensibilité moyenne pour le potassium.

Principe

Les écosystèmes étudiés par l'unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers de l'INRA appartiennent à la classe de sensibilité forte pour tous les éléments nutritifs, à l'exception du potassium pour lequel la majorité des sites appartient à la classe de sensibilité forte et quelques-uns à la classe de sensibilité moyenne. L'INRA y a établi des bilans entrées-sorties²⁶ annuels de nutriments sur des écosystèmes forestiers, exploités pour le bois fort des tiges uniquement. Cette valeur correspond à un « flux de recharge possible » du sol (exprimé en kg de nutriment par hectare et par année ; kg/ha/an).

On ramène les valeurs d'exportations totales de nos scénarii à des valeurs annuelles en considérant le nombre d'années entre 2 récoltes. Cette valeur correspond alors à un « flux moyen d'exportation » en kg/ha/an.

On met en relation le flux d'exportation avec le flux de recharge pour obtenir un taux de recharge de l'écosystème forestier exploité.

²⁶Le bilan de fertilité « entrées-sorties » constitue un outil pertinent pour le diagnostic global de l'évolution d'un écosystème. En condition de relief modéré et en climat tempéré, les entrées considérées sont les apports atmosphériques et l'altération des minéraux du sol ; les sorties sont les pertes par drainage en bas de profil de sol et l'immobilisation dans la biomasse arborée. Le bilan correspond à la différence entre les entrées et les sorties d'un écosystème forestier sur une période donnée.

$$\text{Taux de recharge} = \frac{\text{Flux d'exportation}}{\text{Flux de recharge naturelle}} = \frac{\text{Quantités exportées}}{\text{nb d'années entre 2 récoltes}} = \frac{\text{Entrées} - \text{Sorties}}{\text{Entrées} - \text{Sorties}}$$

Le taux de recharge doit être positif et inférieur à 1 pour assurer la recharge naturelle du sol entre deux récoltes de biomasse.

Cet indicateur est le plus pertinent pour estimer la capacité du système forestier à compenser les exportations dans le temps.

Limites

Le bilan entrées-sorties est une approche qui nécessite des mesures et analyses de flux multiples sur un temps long (plusieurs années, voire une décennie). En conséquence, peu de données existent à l'échelle du territoire.

La démarche n'a pu être appliquée que pour des sites classés fortement sensibles (Ca, Mg, K, N et P) et moyennement sensibles (K) par le diagnostic INSENSE. Les bilans entrées-sorties établis par la recherche se sont jusqu'alors limités sur les sols à faible fertilité chimique,

Ces conclusions reposent sur l'analyse des résultats des calculs de taux de charge et recharge présentés plus loin. Elles sont cohérentes avec le nouvel indicateur de sensibilité des écosystèmes forestiers à un export supplémentaire de biomasse (indicateur INSENSE), construit de manière à indiquer les sols pour lesquels la nutrition des peuplements est principalement assurée par le recyclage des éléments **nutritifs (via la chute et minéralisation des litières dont feuille, menus bois et racine).**

Sensibilité forte

Taux de charge et taux de recharge concordent et montrent qu'un taux de récolte de menus bois même très faible (10 % et moins) peut mettre en péril le bon fonctionnement des sols. La récolte de menus bois sur ces sols est donc à déconseiller. Dans ces conditions, toute récolte de menus bois sur ces sols fortement sensibles devrait être complétée par une compensation des exports.

Sensibilité intermédiaire

Lorsque l'on considère les stocks 0-10 cm maximum pour cette classe de sensibilité, les simulations indiquent la possibilité d'exporter jusqu'à 70 % des branches sans dépasser un taux de charge de 1. En revanche, des taux de charge supérieurs à 1 pour P et K apparaissent sur les sols présentant les valeurs minimales de stocks 0-10cm. Le taux de recharge applicable sur quelques sites moyennement sensibles à l'exportation de potassium indique quant à lui une période minimum de 30 ans pour compenser les exportations de menus bois d'une coupe finale (en considérant le flux de recharge maximum).

La récolte de menus bois sur ces sols doit donc laisser 30 % de bois au sol pour garantir une compensation à court terme par le stock de l'horizon 0-10cm (seuil définit plus haut par le taux de charge), et ne pas être reconduite dans un délai de 30 ans après une coupe finale.

Le taux de charge reste le plus souvent inférieur à 1 quel que soit l'exportation.

La récolte de menus bois sur ces sols doit laisser un taux faible de bois au sol (10 %). Cette matière organique laissée au sol permettra d'atténuer la perte des nombreuses fonctions assurées par la matière organique dans les sols (rétention en eau, aération, infiltration de l'eau, rétention en éléments nutritifs ...)

Approche 1

le tableau 1 présente les exports d'éléments liés à une récolte de menus bois et les indices de charge associés (export en kg/ha divisé par stock dans le sol en kg/ha, donc à multiplier par 100 pour avoir des %). Des indices de charge entre 0.5 et 1 sont signalés en orange, ceux qui sont supérieurs à 1 en rouge.

						$Taux\ de\ charge = \frac{Contenu\ des\ branches\ exportées}{Stock\ dans\ le\ sol\ de\ 0\ à\ 10cm}$							
données d'entrée			Exportes de minéraux selon les modèles de Achat et al. 2015			Sensibilité FAIBLE 90% exportés	Sensibilité MOYENNE 70% exportés		Sensibilité FORTE 50% exportés		10% exportés		
biomasse considérée	essence	élément nutritif considéré	Tige	Tige + Branches	Branches	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	
Conduite en futaie régulière : • 1 ^e écl = première éclaircie = 120 tMS _{lig} /ha • CF = coupe finale = 240 tMS _{lig} /ha	1 ^e écl	Chêne	N	254.0	428.6	174.6	0.03	0.01	0.03	0.01	0.09	0.00	0.02
			P	16.1	34.6	18.5	0.07	0.01	0.06	0.02	0.44	0.00	0.09
			K	149.4	221.8	72.4	0.28	0.08	0.55	0.09	0.71	0.02	0.14
			Ca	476.3	796.7	320.4	0.07	0.03	0.39	0.10	5.45	0.02	1.09
			Mg	27.3	48.9	21.6	0.10	0.03	0.16	0.04	0.53	0.01	0.11
			N	429.3	838.9	409.6	0.19	0.06	0.21	0.09	0.66	0.02	0.13
			P	26.1	58.2	32.0	0.36	0.06	0.31	0.09	2.28	0.02	0.46
			K	254.1	377.4	123.4	1.42	0.42	2.80	0.45	3.65	0.09	0.73
			Ca	807.0	1374.9	567.9	0.35	0.13	2.08	0.52	28.99	0.10	5.80
			Mg	50.2	85.8	35.7	0.50	0.15	0.77	0.20	2.64	0.04	0.53
	CF	Chêne	N	134.5	283.8	149.3	0.02	0.01	0.03	0.01	0.08	0.00	0.02
			P	13.0	29.4	16.4	0.06	0.01	0.05	0.02	0.39	0.00	0.08
			K	80.6	148.3	67.7	0.26	0.08	0.51	0.08	0.67	0.02	0.13
			Ca	161.9	240.2	78.3	0.02	0.01	0.10	0.02	1.33	0.00	0.27
			Mg	19.7	32.0	12.3	0.06	0.02	0.09	0.02	0.30	0.00	0.06
			N	252.5	465.4	213.0	0.10	0.03	0.11	0.05	0.34	0.01	0.07
			P	22.6	50.0	27.4	0.30	0.05	0.26	0.08	1.96	0.02	0.39
			K	160.7	293.3	132.5	1.52	0.45	3.00	0.49	3.92	0.10	0.78
			Ca	292.2	384.8	92.5	0.06	0.02	0.34	0.08	4.72	0.02	0.94
			Mg	37.4	51.5	14.2	0.20	0.06	0.31	0.08	1.05	0.02	0.21
	CF	Epicéa	N	134.5	283.8	149.3	0.02	0.01	0.03	0.01	0.08	0.00	0.02
			P	13.0	29.4	16.4	0.06	0.01	0.05	0.02	0.39	0.00	0.08
			K	80.6	148.3	67.7	0.26	0.08	0.51	0.08	0.67	0.02	0.13
			Ca	161.9	240.2	78.3	0.02	0.01	0.10	0.02	1.33	0.00	0.27
Mg			19.7	32.0	12.3	0.06	0.02	0.09	0.02	0.30	0.00	0.06	
N			252.5	465.4	213.0	0.10	0.03	0.11	0.05	0.34	0.01	0.07	
P			22.6	50.0	27.4	0.30	0.05	0.26	0.08	1.96	0.02	0.39	
K			160.7	293.3	132.5	1.52	0.45	3.00	0.49	3.92	0.10	0.78	
Ca			292.2	384.8	92.5	0.06	0.02	0.34	0.08	4.72	0.02	0.94	
Mg			37.4	51.5	14.2	0.20	0.06	0.31	0.08	1.05	0.02	0.21	

Approche 2

Le tableau 2 présente

- les flux annuels d'exportations (hypothèse de rotations de 15 ans par défaut ou 30 ans quand spécifié),
 - les flux de recharge naturelle pour leurs valeurs médiane et maximum (bilans entrées-sorties annuels)
 - les taux de recharge associés (Flux d'exportations en kg/ha/an divisé par la Recharge naturelle médiane ou maximum en kg/ha/an).
- ⇒ Des indices compris entre 0.75 et 1.25 indiquent que la recharge est **critique** et compense difficilement les exports
- ⇒ Des indices de recharge négatifs ou supérieurs à 1.25 indiquent que la recharge est **insuffisante**.

										$Taux\ de\ recharge = \frac{Recharge\ nécessaire}{Recharge\ possible}$						
données d'entrée			Recharge nécessaire (kg/ha/an) pour des exports tous les 15 ans de :				Recharge possible (bilans entrées –sortie, kg/ha/an)		Classe sensibilité forte % menus bois récoltés = 50%		Classe sensibilité forte % menus bois récoltés = 10%		BASE 15ANS Classe sensibilité moyenne % menus bois récoltés = 70%		BASE 30ANS Classe sensibilité moyenne % menus bois récoltés = 70%	
biomasse considérée	essence	élément nutritif considéré	90%	70%	50%	10%	Méd	Max	Méd	Max	Méd	Max	Percent 66%	Max	Percent 66%	Max
Conduite en futaie régulière : • 1 ^{er} écl = première éclaircie = 120 tMS _{lig} /ha • CF = coupe finale = 240 tMS _{lig} /ha	1 ^{er} écl	N	3.49	2.72	1.94	0.39	-2.80	10.04	<0	0.19	<0	0.04				
		P	0.37	0.29	0.21	0.04	0.44	1.19	0.47	0.17	0.09	0.03				
		K	1.45	1.13	0.80	0.16	0.20	28.20	4.02	0.03	0.80	0.01	0.77	0.04	0.38	0.02
		Ca	6.41	4.98	3.56	0.71	-1.03	2.56	<0	1.39	<0	0.28				
		Mg	0.43	0.34	0.24	0.05	-1.90	0.41	<0	0.58	<0	0.12				
	CF	N	24.58	19.12	13.65	2.73	-2.80	10.04	<0	1.36	<0	0.27				
		P	1.92	1.49	1.07	0.21	0.44	1.19	2.42	0.90	0.48	0.18				
		K	7.40	5.76	4.11	0.82	0.20	28.20	20.56	0.15	4.11	0.03	3.92	0.20	1.96	0.10
		Ca	34.07	26.50	18.93	3.79	-1.03	2.56	<0	7.39	<0	1.48				
		Mg	2.14	1.66	1.19	0.24	-1.90	0.41	<0	2.87	<0	0.57				
	1 ^{er} écl	N	2.99	2.32	1.66	0.33	-2.80	10.04	<0	0.17	<0	0.03				
		P	0.33	0.26	0.18	0.04	0.44	1.19	0.42	0.15	0.08	0.03				
		K	1.35	1.05	0.75	0.15	0.20	28.20	3.76	0.03	0.75	0.01	0.72	0.04	0.36	0.02
		Ca	1.57	1.22	0.87	0.17	-1.03	2.56	<0	0.34	<0	0.07				
		Mg	0.25	0.19	0.14	0.03	-1.90	0.41	<0	0.33	<0	0.07				
	CF	N	12.78	9.94	7.10	1.42	-2.80	10.04	<0	0.71	<0	0.14				
		P	1.64	1.28	0.91	0.18	0.44	1.19	2.07	0.77	0.41	0.15				
		K	7.95	6.19	4.42	0.88	0.20	28.20	22.09	0.16	4.42	0.03	4.21	0.22	2.10	0.11
		Ca	5.55	4.32	3.08	0.62	-1.03	2.56	<0	1.20	<0	0.24				
		Mg	0.85	0.66	0.47	0.09	-1.90	0.41	<0	1.14	<0	0.23				
* Evaluée à partir de bilans de fertilité entrées-sorties établis par l'INRA BEF sur 15 écosystèmes forestiers appartenant à la classe de sensibilité forte										Rouge <0 ou > 1.25 : recharge insuffisante 0.75 < Orange < 1.25 : recharge critique						

* Evaluée à partir de bilans de fertilité entrées-sorties établis par l'INRA BEF sur 15 écosystèmes forestiers appartenant à la classe de sensibilité forte

Rouge <0 ou > 1.25 : recharge insuffisante
0.75 < Orange < 1.25 : recharge critique



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/>





RECOMMANDATIONS POUR UNE RECOLTE DURABLE DE BIOMASSE FORESTIERE POUR L'ENERGIE

Focus sur les compartiments menus bois et souches

Résumé. Les modalités d'exploitation du bois pour la production d'énergie ont fortement évolué ces dix dernières années, notamment dans le contexte de la transition énergétique. Des compartiments de bois laissés en forêt (menus bois notamment), sont ainsi de plus en plus mobilisés. Le prélèvement accru de bois pour l'énergie peut engendrer, dans certaines conditions, des perturbations de l'environnement (sols, biodiversité, eaux).

Ce document de recommandations s'adresse aux acteurs de la filière bois-énergie et fait état des précautions à prendre lors de la récolte des menus bois (diamètre < 7 cm) et des souches, et pour réduire au maximum l'exportation de feuillage. Les autres formes de bois énergie, en particulier le bois bûche, ne sont pas concernés. Les recommandations se fondent sur le diagnostic de la sensibilité des sols à faire face à l'exportation de nutriments et sur la situation éventuelle de chantier envisagé au sein d'une zone protégée vis-à-vis de la biodiversité.

ADEME

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



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION

www.ademe.fr

