

GESTION DES RÉMANENTS FORESTIERS : PRÉSERVATION DES SOLS ET DE LA BIODIVERSITÉ

SYNTHESE DE L'ÉTUDE RÉSOBIO

Juillet 2015

Synthèse réalisée pour le compte de l'ADEME et du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt par Guy Landmann, Ecofor, David Achat, INRA/Ecofor, Laurent Augusto, INRA, Maryse Bigot, FCBA/ONF, Christophe Bouget, Irstea, Vincent Boulanger, ONF, Anne-Sophie Cabral, Ecofor, Emmanuel Cacot, FCBA, Christine Deleuze, ONF, Gwénaëlle Gibaud, ONF, Cécile Nivet, Ecofor, Noémie Pousse, ONF, Claudine Richter, ONF, Laurent Saint-André, INRA, Alain Thivolle Cazat, FCBA, Berndt Zeller, INRA.

Contrats ADEME n°11-60-C0063 et MAAF E13 2012

Coordination technique : Caroline Rantien et Jérôme Mousset – Service Agriculture et Forêts – ADEME (Angers)



SYNTHESE

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cette synthèse remercient les membres du **Comité de Pilotage** de l'étude **RÉSOBIO** : Caroline Rantien et Jérôme Mousset, **ADEME**, Laurent Charasse et Lise Wlerick, **Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire, et de la forêt**, Jean-Paul Torre et Jurgis Sapijankas, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

ainsi que les nombreux **experts** qui ont contribué à enrichir et améliorer le rapport **RÉSOBIO**: Emila Akroume, INRA, Michaël Aubert, Université de Rouen, Alain Bailly, FCBA, Alain Brêthes ONF, Sophie Cornu, ONF, Benoit Fraud, ONF Energie, Jean-Yves Fraysse, FCBA, Yves-Marie Gardette, ONF, Tammouz-Eñaut Helou, FNEDT, Daniel Michaud, FCBA, Sophie Pitocchi, UCFF, Hanitra Rakotoarison, ONF, Jacques Ranger, INRA, Erwin Ulrich, ONF, Caroline Vivancos, UCFF, Paris.

L'ADEME remercie les membres du comité de pilotage pour leur participation, au suivi et à l'orientation de l'étude. En dépit de la rigueur apportée à cette étude, différentes analyses restent possible sur l'un ou l'autre aspect. Aussi, le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs. Toutes interprétations, positions et recommandations ne peuvent pas être attribuées aux membres du comité de pilotage.

L'ADEME remercie également vivement les membres du « comité technique » – constitué des représentants de la filière forêt-bois et de la société civile (liste ci-dessous) – qui se sont fortement impliqués.

CIBE, Comité Interprofessionnel du Bois Energie
COPACEL Confédération Françaises de l'Industrie des papiers, Cartons et Cellulose
FCBA, Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement
FPF, Forestiers Privés de France
FNB, Fédération Nationale du Bois
FNE, France Nature Environnement
FNEDT, Fédération Nationale des Entrepreneurs des Territoires
FSC, Forest Stewardship Council
IDF, Institut de Développement Forestier
ONF, Office National des Forêts
PEFC, Programme de reconnaissance des certifications forestières)
POE Conseil
RNF, Réserves naturelles de France
SER, Syndicat des énergies renouvelables (SER)
SF-CDC Société Forestière, Caisse des Dépôts et Consignations
SKCDP, Smurfit Kappa Comptoir du Pin
UICN Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UCFF, Union des Coopératives Forestières Françaises

Citation conseillée

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 RÉSOBIO. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Synthèse de l'étude RÉSOBIO Angers : ADEME, Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor, 24 p.

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 la 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.

RESUME

Les efforts engagés par la France dans la lutte contre l'effet de serre se traduiront, au cours des prochaines années par une hausse de la récolte de bois pour la production d'énergie. La plus forte mobilisation des résidus d'exploitation forestière, couramment désignés par le terme de « **rémanents** », est une des possibilités retenues pour approvisionner la filière bois-énergie. Afin d'appréhender au mieux les impacts potentiels de cette évolution sur les sols et la biodiversité forestière, l'ADEME et le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt ont confié au GIP ECOFOR une étude intitulée « **Gestion des rémanents forestiers, préservation des sols et de la biodiversité** ». Un groupe d'experts de l'ONF, du FCBA, de l'INRA et d'Irstea a réalisé **un état des connaissances** poussé sur le sujet.

La présente synthèse résume les résultats de ce travail sur (i) la nature des bois utilisés (et parmi eux les rémanents) pour la production d'énergie, (ii) les conséquences de ce type de prélèvement pour la fertilité des sols (y compris les possibilités de fertilisation compensatoire, notamment par les cendres de bois), et (iii) les conséquences pour la biodiversité. Des **besoins de recherche et de suivi** sont formulés pour ces différents aspects. Ces besoins sont importants dans tous les domaines, mais plus particulièrement dans celui de la biodiversité, moins exploré que celui des impacts sur la fertilité et plus sensible aux yeux de la société. Quelques pistes de préconisations sont proposées sur la base de ce travail de synthèse. La consolidation de recommandations plus précises pour les opérateurs de terrain nécessite des investigations plus poussées et interviendra ultérieurement.

SUMMARY

The efforts made by France in order to combat greenhouse effect will result, during the next few years, into a substantial increase in wood harvesting for energy production. A greater mobilization of logging residues is anticipated. In order to understand the potential impacts of these changes on forest soil and biodiversity, ADEME and the Ministry of agriculture, food and forestry have entrusted GIP ECOFOR a study entitled “**Management of forest residues, soil, conservation and biodiversity**”. A group of experts of ONF, FCBA, INRA, and Irstea achieved an in depth **state of knowledge** on this subject.

This review summarizes the results of the work on (i) the nature of timber used for for the production of energy (among the slash), (ii) the consequences of slash harvesting on soil fertility and compensatory fertilization opportunities (especially wood ash) and (iii) the impacts on biodiversity. **Research and monitoring needs** are formulated for these different aspects. These needs are important in all areas, but particularly for biodiversity, less explored than the impact of fertility but very important to the public. In this work, only preliminary recommendations were given. This work will later be used in the formulation of **recommendations** for field operators for the management of slash

Table des matières

RESUME	3
SUMMARY	4
Encadré 1 – Le projet Résobio en bref	6
PARTIE 1. L'UTILISATION DES RÉMANENTS FORESTIERS : CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	7
1. L'UTILISATION ACCRUE DES RÉMANENTS FORESTIERS – OU RÉSIDUS D'EXPLOITATION FORESTIÈRE – S'INSCRIT DANS UN OBJECTIF AMBITIEUX DE DÉVELOPPEMENT DU BOIS-ÉNERGIE	7
2. CETTE MOBILISATION DOIT S'INSCRIRE DANS LE CADRE D'UNE GESTION DURABLE DES FORÊTS ET NE PAS METTRE EN CAUSE LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ	8
PARTIE 2. LES RÉMANENTS, NATURE ET UTILISATION.....	9
3. LES RÉMANENTS FORESTIERS : CE QUI RESTE SUR LE PARTERRE DE COUPE APRÈS EXPLOITATION.....	9
Encadré 2 – Définition des rémanents forestiers.....	9
4. DES MENUS BOIS ENCORE PEU UTILISÉS POUR LA PRODUCTION DE PLAQUETTES	10
5. TOUTE RÉCOLTE DE RÉMANENTS LAISSE UNE FRACTION IMPORTANTE DE RÉSIDUS SUR LE PARTERRE DE COUPE.....	11
6. LE FEUILLAGE : UN COMPARTIMENT PAS RECHERCHÉ MAIS PARFOIS EXPORTÉ	11
7. LE PRÉLÈVEMENT DES SOUCHES PRATIQUÉ DANS LES LANDES DE GASCOGNE.....	12
PARTIE 3. IMPACTS POTENTIELS SUR LA FERTILITÉ DES SOLS ET COMPENSATION, NOTAMMENT PAR LES CENDRES	13
Encadré 3. Le principe de la méta-analyse appliqué à la question de l'impact des récoltes forestières sur la fertilité des sols et des peuplements.....	13
8. LA RÉCOLTE DE RÉMANENTS AUGMENTE DE FACON IMPORTANTE L'EXPORTATION DE MINÉRALOMASSE PAR RAPPORT A UNE RÉCOLTE CONVENTIONNELLE.....	13
Encadré 4. Des équations reliant biomasse et minéralomasse : un apport de Résobio à valoriser	14
9. LES EFFETS D'UNE RÉCOLTE ACCRUE DE RÉMANENTS SONT PLUS NETS SUR LA FERTILITÉ DES SOLS, LA MATIÈRE ORGANIQUE, ET L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL, QUE SUR LE STATUT NUTRITIONNEL ET LA PRODUCTIVITÉ DES PEUPELEMENTS.....	14
10. DES INDICATEURS SIMPLES ET PERFORMANTS POUR CARACTÉRISER LA SENSIBILITÉ DES SOLS À L'EXPORTATION DE RÉMANENTS FONT ENCORE DÉFAUT.....	14
11. LE RETOUR DE CENDRES EN FORÊT : MOTIVATIONS, INTÉRÊTS AGROGRONOMIQUE ET ÉCONOMIQUE.....	15
12. DES RISQUES ÉCOLOGIQUES LIÉS AU RETOUR DE CENDRES EN FORÊT PROBABLEMENT LIMITÉS MAIS DES PRÉCAUTIONS À PRENDRE	15
13. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET PRISE EN COMPTE DANS LE SYSTEME DE CERTIFICATION DU RETOUR DES CENDRES EN FORÊT	16
PARTIE 4. CONSÉQUENCES POUR LA BIODIVERSITÉ	17
14. LA DIVERSITÉ DES PIÈCES DE BOIS AU SOL : UN ÉLÉMENT CRUCIAL POUR LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ DIRECTEMENT LIÉE AUX RÉMANENTS	17
15. DES COMPOSANTES DE BIODIVERSITÉ INDIRECTEMENT LIÉE AUX RÉMANENTS, NOTAMMENT L'ABRI OFFERT À DIVERSES ESPÈCES ET LES MODIFICATIONS INDUITES DES SOLS	17
16. LES SOUCHES POURRAIENT CONSTITUER DES SUBSTRATS DE SUBSTITUTION DANS LE PAYSAGE FORESTIER POUR UNE PARTIE DE LA FAUNE SAPROXYLIQUE	18
17. LES PRATIQUES DE RÉCOLTE DES RÉMANENTS ONT DES EFFETS POTENTIELLEMENT IMPORTANTS SUR LA BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE	18
18. IMPORTANCE DES GRANDES ÉCHELLES DE TEMPS ET D'ESPACE POUR APPRÉHENDER LA CONSERVATION DES ESPÈCES LIÉES AU BOIS MORT	18
Encadré 5. Principales pistes de recommandations pour une bonne gestion des rémanents forestiers.....	19

Encadré 6. Des guides étrangers sur la gestion des rémanents 20

PARTIE 5. BESOINS DE SUIVI ET DE RECHERCHE	21
19. MIEUX CONNAÎTRE LES PRATIQUES DE RÉCOLTE DE BOIS-ÉNERGIE	21
20. MIEUX CONNAÎTRE LA SENSIBILITÉ DES SOLS À UNE EXPORTATION ACCRUE D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX.....	21
21. BESOIN DE RÉFÉRENCES ET MÉTHODES SUR L'UTILISATION DES CENDRES EN FORÊT :	21
22. MIEUX SUIVRE LES IMPACTS DES EXPORTS DE RÉMANENTS SUR LA BIODIVERSITÉ.....	22
23. MOBILISATION DES BOIS PAR LE PASSÉ ET MESURES CONSERVATOIRES ACTUELLES : QUELLE DYNAMIQUE DE LA BIODIVERSITÉ ?	22
24. MIEUX CONNAÎTRE LES FLUX DE BOIS MORT DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE	23
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	24

ENCADRÉ 1 – LE PROJET RÉSOBIO EN BREF

Ce projet a eu comme objectifs 1) d'actualiser les connaissances disponibles au niveau international – avec un focus sur les zones tempérées – sur les conséquences potentielles du prélèvement des rémanents forestiers dans le domaine de la fertilité et de la biodiversité, 2) d'identifier les besoins de recherche et de suivi, et 3) d'identifier les pistes de recommandations en vue d'actualiser et d'étendre le champ du guide de l'ADEME (2006) sur la « récolte raisonnée des rémanents en forêt ».

Entre mai 2012 et octobre 2013, onze experts ont dressé l'état des connaissances. Une attention particulière a été apportée aux interactions entre l'équipe-projet et les acteurs de la filière forêt-bois et de la société civile.

La synthèse générale du rapport (env. 50 pages) (i) décline les résultats autour d'une vingtaine de questions sur la nature des bois utilisés pour la production d'énergie et la place des rémanents, les conséquences de ce type de prélèvement pour la fertilité des sols et la productivité des peuplements, et les effets sur la biodiversité, (ii) propose des pistes de recommandations pour la gestion des rémanents, et (iii) identifie des besoins de suivi et de recherche.

La 2^{ème} partie du rapport est constituée de cinq rapports scientifiques et techniques (cf. dessous).

POUR EN SAVOIR PLUS : le Rapport RÉSOBIO

Landmann G. et 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.

Achat., 2014. Analyse bibliographique des impacts du prélèvement des rémanents forestiers sur la fertilité des sols et la croissance des peuplements. Partie 2, Rapport 1, pp 63-164

Pousse N., 2014. Etude prospective de l'intérêt du taux de saturation des sols par rapport au pH comme indicateur de la sensibilité aux exports de minéralomasse. Partie 2, Rapport 2, pp. 165 –191

Richter C., Augusto L., 2014 Intérêt et modalités de retour de cendres de bois en forêt. Partie 2, Rapport 3, pp. 181-191

Boulanger V., Bouget C., Landmann G., 2014. Conséquences de la récolte des rémanents forestiers pour la biodiversité, Partie 2, Rapport 4. pp 193-207

Cabral A.-S ; Les documents d'orientation des pratiques de gestion des rémanents forestiers à l'étranger : revue bibliographique, Partie 2, Rapport 5. pp 209-243

Consultable :

<http://www.ademe.fr/projet-resobio-gestion-remanents-forestiers-preservation-sols-biodiversite> ou

<http://www.gip-ecofofor.org/?q=node/900>

PARTIE 1. L'UTILISATION DES RÉMANENTS FORESTIERS : CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

1. L'UTILISATION ACCRUE DES RÉMANENTS FORESTIERS – OU RÉSIDUS D'EXPLOITATION FORESTIÈRE – S'INSCRIT DANS UN OBJECTIF AMBITIEUX DE DÉVELOPPEMENT DU BOIS-ÉNERGIE

Avec la montée en puissance des préoccupations relatives à la lutte contre l'effet de serre et à l'épuisement des ressources fossiles, l'attention se porte aujourd'hui plus qu'hier sur la forêt et le bois. Afin de concrétiser ses engagements politiques – Paquet Énergie Climat au niveau européen, Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables, etc. –, la France s'est dotée de plusieurs outils (Fonds Chaleur, Programme 1000 chaufferies, Appels à projets de la Commission de Régulation de l'Énergie) visant à stimuler la demande de bois pour la production d'énergie. Pour atteindre l'objectif des 23 % d'énergies renouvelables à l'horizon 2020, la part de bois-énergie dans le mix énergétique total devrait augmenter de façon substantielle..

Les objectifs à horizon 2020 seront difficiles à atteindre, mais il est certain que la part du bois dans le bouquet des énergies renouvelables augmentera fortement au cours des années à venir, en substitution à des sources d'énergie fossile (charbon, pétrole, gaz). Une mobilisation supplémentaire de bois sera nécessaire, ce qui suppose probablement des inflexions dans la manière de gérer la forêt. Il peut s'agir notamment d'accélérer l'exploitation des ressources déjà accessibles, d'en rendre accessibles de nouvelles par le développement de réseaux de dessertes, de développer des ressources nouvelles comme les taillis à courte ou très courte révolution ou encore de mobiliser des **compartiments peu exploités**, parmi lesquels les **résidus d'exploitation forestière**, couramment désignés par le terme de **rémanents**. Ces derniers furent abondamment récoltés par le passé (figure 1) et le sont toujours ponctuellement pour l'usage des particuliers.

La valorisation éventuelle de ce gisement présente notamment l'intérêt de ne pas être en conflit d'usage avec les utilisations actuelles de bois d'œuvre et d'industrie.



Figure 1 : carte postale ancienne (début 20^{ème} siècle) présentant la récolte de rémanents en Forêt de Sénart

Les évaluations de la ressource disponible en bois-énergie menées ces dernières années aboutissent à des estimations de volumes supplémentaires mobilisables de l'ordre de 5 et 9 Mm³/an de **menus bois**- définis comme la **biomasse des bois de diamètre inférieur à 7 cm** (cimes et petites branches). Cette ressource est en grande majorité feuillue. Ce compartiment est, pour des raisons techniques et économiques, plus difficile à mobiliser que celui récolté sous l'appellation de Bois Industrie /Bois Energie (BIBE)

2. CETTE MOBILISATION DOIT S'INSCRIRE DANS LE CADRE D'UNE GESTION DURABLE DES FORÊTS ET NE PAS METTRE EN CAUSE LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

La **gestion durable et multifonctionnelle des forêts** constitue le pilier de la politique forestière française. Ainsi, la Loi d'orientation sur la forêt du 9 juillet 2001 indique, dans son article L. 1^{er} que – *La mise en valeur et la protection des forêts sont reconnues d'intérêt général. La politique forestière prend en compte les fonctions économique, environnementale et sociale des forêts et participe à l'aménagement du territoire, en vue d'un développement durable. Elle a pour objet d'assurer la gestion durable des forêts et de leurs ressources naturelles, de développer la qualification des emplois en vue de leur pérennisation, de renforcer la compétitivité de la filière de production forestière, de récolte et de valorisation du bois et des autres produits forestiers et de satisfaire les demandes sociales relatives à la forêt.*

Les forêts fournissent aux sociétés humaines des biens et des services de nature variée (bois, ressources alimentaires, régulation du climat, fonction paysagère et récréative). Elles constituent également l'habitat naturel d'une importante communauté biologique et sont considérées comme des zones refuges pour certaines espèces.

Le prélèvement de rémanents doit s'inscrire dans l'engagement à « **produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité forestière**, dans une démarche territoriale concertée et dans le respect de la gestion multifonctionnelle des forêts ». L'accord signé en 2007 dans le cadre du Grenelle de l'environnement par France Nature Environnement (FNE), la Fédération des communes forestières (FNCOFOR), l'Office national des forêts (ONF) et la Fédération nationale des forestiers privés de France (FPF), concerne potentiellement les différentes formes de prélèvements supplémentaires de bois, et donc les rémanents forestiers.

Les conséquences potentielles portent notamment sur (i) une perte de fertilité des sols forestiers et une réduction du potentiel de production de la forêt : ces risques concernent les stations les plus pauvres sur lesquelles l'intensification des prélèvements pourrait perturber les cycles biogéochimiques *via* l'exportation supplémentaire d'éléments minéraux, et (ii) une atteinte à la biodiversité : le bois mort au sol qui trouve en partie sa source dans les rémanents constitue l'habitat de nombreuses espèces, et les changements de propriété du sol (physiques et chimiques) peuvent avoir un impact sur la biodiversité du sol. Un certain nombre d'effets connexes peuvent se produire. En outre, la récolte des rémanents ou l'apport d'amendements en forêt peut entraîner, dans certaines conditions d'organisation de chantiers, un tassement supplémentaire des sols sensibles.

PARTIE 2. LES RÉMANENTS, NATURE ET UTILISATION

3. LES RÉMANENTS FORESTIERS : CE QUI RESTE SUR LE PARTERRE DE COUPE APRÈS EXPLOITATION

Comme mentionné plus haut, les **rémanents forestiers** – ou **résidus d'exploitation** – constituent l'**ensemble des éléments qui restent sur le parterre de coupe après exploitation tout au long de la vie d'un peuplement**, c'est-à-dire, qui n'ont pas de marché au moment des exploitations ; les compartiments récoltés peuvent ainsi varier fortement selon les contextes étudiés et au fil du temps.

La figure 2 visualise les compartiments de l'arbre sur pied, plus particulièrement les menus bois (diamètre < 7 cm) qui constituent l'essentiel des rémanents. S'ajoutent à ces menus bois, divers autres rebus et, dans un sens élargi du terme rémanents, le feuillage et les souches (voir encadré 2).

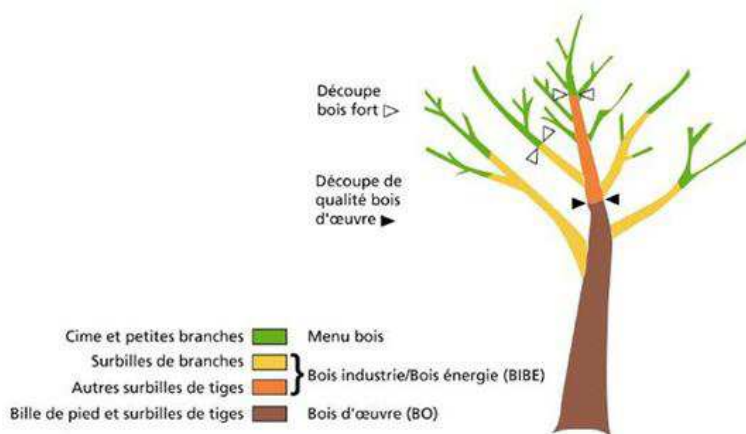


Figure 2 : Localisation des compartiments de biomasse dans l'arbre. (Thivolle-Cazat, in Colin *et al.*, 2009)

ENCADRÉ 2 – DÉFINITION DES RÉMANENTS FORESTIERS

Au sens strict, ils comprennent :

- les **bois de diamètre inférieur à 7 cm**, ou menus bois, sont actuellement le plus souvent laissés sur coupes. Ils étaient autrefois, en grande partie ramassés. Cette situation existe encore à titre exceptionnel dans les régions où la demande en bois de feu est forte (notamment exploitation par les particuliers pour leur propre consommation) ;
- une **fraction des branches de diamètre supérieur à 7 cm**, reste également sur le parterre des coupes si elles ne sont pas valorisées autrement ;
- les **chutes et rebus divers** et tout ce qui ne peut être commercialisé en bois industrie ou bois de feu. Cela englobe l'égobelage (élimination des excroissances se trouvant sur le bas du tronc des arbres pour permettre un abattage plus facile), les découpes à longueur, les purges.
- les **petites tiges** qui n'ont pas le diamètre marchand, qu'elles proviennent d'une éclaircie ou pas.

Au sens large, ils comprennent :

- le **feuillage** : les récoltes de branches sont faites en feuille (ce qui est toujours le cas pour les résineux hors mélèze). Le feuillage est susceptible d'être exporté dans certaines conditions d'exploitation bien qu'il ne présente pas d'intérêt énergétique ;
- les **souches**, compartiment potentiellement valorisable comme ressource énergétique. Pas classiquement considéré comme « rémanents », il est à prendre en compte dans le cadre des récoltes actuelles.

Cette définition sylvicole des rémanents est également un point de départ pertinent pour les *analyses écologiques* car ces pièces de bois mort de diverses tailles et caractéristiques qui restent au sol constituent le substrat de certaines espèces saproxyliques (principalement insectes, mais aussi champignons, bryophytes et lichens) pendant au moins une partie de leur cycle de vie. L'analyse écologique nécessite en outre de prendre en compte la dégradation progressive des éléments fournis par les coupes et les divers éléments générés par les aléas de nature biotiques (problèmes sanitaires) et abiotiques (tempêtes,...).

4. DES MENUS BOIS ENCORE PEU UTILISÉS POUR LA PRODUCTION DE PLAQUETTES

Le volume de rémanents actuellement mobilisé en France est mal connu, notamment en raison de la diversité des modes de récolte et du contexte des ces récoltes (autoconsommées ou partie d'une filière organisée). Il n'existe pas de statistiques sur lesquelles s'appuyer.

Les menus bois ne semblent représenter à l'heure actuelle qu'une petite fraction (estimée à moins de 10% en volume par les acteurs professionnels) de la ressource utilisée pour la production des plaquettes forestières. Les sources principales (dont certaines incluent pour partie des menus bois) pour la production de plaquettes sont :

- les arbres entiers de faible dimension (premières éclaircies) ;
- les cimes des coupes finales de futaie (les grosses branches fournissent la majeure partie du volume dans ce cas) ;
- la mobilisation de taillis et taillis-sous-futaie vieilliss.

En forêt publique, le principal gisement additionnel pour l'approvisionnement futur en bois énergie se situe dans les premières éclaircies et les menus-bois de coupes finales.

Il faut noter que la récolte de menus bois n'est généralement pas un objectif en tant que tel dans les systèmes d'exploitation actuels. Il y a très peu de chantiers où l'on récolte le menus bois séparément des autres produits (bois d'œuvre, bois d'industrie) pour la simple raison que de tels chantiers sont généralement non rentables. Ils peuvent le devenir dans le cas d'une exploitation combinée des tiges et houppiers (par arbres entiers) qui simplifie les opérations d'exploitation forestière et en réduit les coûts d'exploitation (cas spécifique des premières éclaircies). La hausse du prix d'achat de la biomasse énergie a une influence sur le seuil de rentabilité de ces opérations.

Au final, il est très difficile d'évaluer la proportion de la ressource potentielle « menus bois » qui est actuellement utilisée pour produire de la plaquette forestière. A titre indicatif, on peut donner une estimation grossière par le calcul simpliste suivant : si on considère que la demande de plaquettes forestières évaluée à 2 Mm³ (année 2011, Deleuze *et al.*, 2012) n'est satisfaite qu'à 10 % par des menus bois, (soit 200 000 m³), cela représente un taux d'à peine 2 % des 8,8 Mm³ du gisement estimé (Ginisty *et al.*, 2009).

La proportion de menus bois dans la fabrication de plaquettes est moins importante en France que dans le nord de l'Europe. La surface plus grande des coupes, la desserte forestière et les places de dépôt plus importantes, ainsi que les essences expliquent ce développement dans les pays du nord de l'Europe. Mais surtout, dans ces pays, les menus bois représentent le principal compartiment forestier encore disponible pour une récolte supplémentaire.

Le développement du bois énergie n'entraînera pas nécessairement un prélèvement systématique de menus bois. Plusieurs mécanismes sont en effet à l'œuvre :

- les démarches conduisant à une augmentation de la production de **bois matériau** entraînent mécaniquement une augmentation des gisements BI et BE traditionnellement accessibles.
- une **concurrence et des effets de substitution** peuvent apparaître entre bois énergie et bois d'industrie : ainsi, quand les industries associées sont en difficulté, le BI sous forme de billons voir le bois d'œuvre de qualité emballage, peut être écoulé en bois énergie. Les phénomènes de transfert entre filières pèsent beaucoup dans l'évolution des modalités de production de bois énergie.

- les **techniques de récolte mécanisée** évoluent rapidement : en particulier le développement de récoltes d'arbres entiers (récolte de la biomasse aérienne totale : troncs + branches + menus bois + feuillages en fonction des essences et des saisons) pour les premières éclaircies ou en éclaircies pré-commerciales, entraîne une récolte systématique de menus bois. C'est la simplification de récolte de ces petites tiges qui constitue ici le moteur du choix, et non la recherche d'une augmentation de la biomasse récoltée. Par ailleurs, ce mode de récolte permet de trouver un débouché et une rentabilité, et ainsi de réaliser ces opérations sylvicoles essentielles pour la conduite des peuplements, interventions qui sont trop souvent différées actuellement.
- la nature des **débouchés** pour les plaquettes et la **rentabilité des opérations**¹ (qui dépend de l'ensemble du système de production) et l'intérêt, notamment économique, des propriétaires.

En tout état de cause, la production de plaquettes forestières pour l'énergie reste à ce jour modeste par comparaison avec les autres usages du bois.

5. TOUTE RÉCOLTE DE RÉMANENTS LAISSE UNE FRACTION IMPORTANTE DE RÉSIDUS SUR LE PARTERRE DE COUPE

L'exportation des rémanents à l'occasion des récoltes n'est jamais exhaustive et une partie plus ou moins importante reste sur la coupe, ce qui constitue une perte pour les opérateurs, mais atténue les impacts environnementaux potentiels.

Les taux de perte moyens sont estimés dans une fourchette de 30 % à 50 % pour les principaux compartiments concernés : branche de résineux et de feuillus, souches résineuses (pas de données disponibles pour les feuillus). On estime que 50-70 % des aiguilles restent au sol en cas de récolte sans séchage de rémanents, taux qui s'élève à 90 % en cas de récolte après séchage des rémanents (pas de données pour les feuillus). Environ 20 % de l'écorce (résineux) reste au sol, mais des taux beaucoup plus élevés (jusqu'à 80 %) en cas de mise en œuvre de certains engins d'abattage. Des essais menés par l'ONF et FCBA ont montré en feuillus que les taux de perte varient fortement selon le diamètre visé pour de petits arbres récoltés mécaniquement en billons de 2 à 4 m. En fait, le volume de bois mort généré par l'exploitation des petits arbres est important puisqu'il est compris entre 33 et 45 % de la biomasse des arbres récoltés pour ce type de peuplement (ou 50 à 80 % du volume récolté).

Le type de récolte joue également un rôle très important. Ainsi, dans le cas du Pin maritime (Landes de Gascogne), la récolte de rémanents d'exploitation a été estimée avec 50 % de perte en cas de récolte de rémanents seuls, mais seulement à 20 % de pertes en cas de récolte avec la tige entière.

Les niveaux moyens de perte apparaissent donc relativement importants. Il faut cependant noter que les données disponibles sont relativement ponctuelles.

6. LE FEUILLAGE : UN COMPARTIMENT PAS RECHERCHÉ MAIS PARFOIS EXPORTÉ

Notons en préambule que les études de ressource réalisées en France ne comprennent pas le compartiment feuillage, qui n'est pas considéré comme faisant partie de la ressource potentielle « rémanents » (voir encadré 2).

La récolte des feuilles n'apporte qu'une masse supplémentaire limitée à la récolte des produits principaux alors qu'elle entraîne une perte de qualité des plaquettes produites (augmentation du taux de fines², de l'humidité et du taux de cendre). La plaquette contenant du feuillage est généralement moins bien payée que celle issue de bois rond. Les unités déjà installées en France demandent des produits calibrés qui ne peuvent inclure les feuilles. Les guides techniques destinés aux producteurs français de plaquettes comportent la préconisation du séchage des branches, afin de faire tomber le feuillage, recommandation que l'on trouve également dans le guide ADEME³ (2006).

¹ Voir notamment le document : Bois-énergie : l'approvisionnement en plaquettes forestières, Grovel *et al.*, 2014.

² Les fines sont les particules de taille inférieure à 2 mm, résidus des opérations de transformation et de transport du bois

³ Guide : « La récolte raisonnée de rémanents en forêt », par Cacot *et al.*, 2006, publié par l'ADEME, Collection Connaitre pur agir.

Il y a donc actuellement une convergence d'intérêt entre les fournisseurs et consommateurs de plaquettes et les préoccupations écologiques telles que le maintien de la fertilité du sol. Il faut toutefois être vigilant sur le lieu de séchage des branches pour faire tomber le feuillage. Les arbres peuvent être abattus puis laissés à sécher sur la parcelle avant débardage ou broyage. Dans d'autres cas, ils sont immédiatement débardés après abattage et le séchage, avec la chute du feuillage à lieu bord de route ou sur place de dépôt avant broyage. Dans ce dernier cas, le feuillage (pour les résineux ou feuillus en feuilles) n'est pas ajouté à la récolte, mais il est néanmoins exporté de la parcelle.

Cette situation peut évoluer en fonctions des mécanismes déjà cités plus haut (cf §4), mais également de la contrainte en termes organisationnels que représentent deux passages l'un pour l'abattage, l'autre pour le débardage des bois, et de l'émergence d'unités de combustion capables de valoriser des produits comportant une certaine proportion de feuillage (comme il en existe en Scandinavie).

7. LE PRÉLÈVEMENT DES SOUCHES PRATiqué DANS LES LANDES DE GASCOGNE

La récolte des souches n'est pratiquée, à l'heure actuelle, qu'en Aquitaine. Testée de longue date, elle s'est récemment développée suite aux tempêtes de 1999 et 2009 qui ont réduit fortement la ressource en bois alors que des producteurs locaux de pâte à papier ont besoin d'un apport important de chaleur pour le processus de fabrication. Dans un contexte de forêt cultivée, en sol sableux (favorables à l'extraction des souches), outre leur intérêt éventuel comme source d'énergie, les souches sont prélevées pour des raisons sanitaires (notamment la présence du *fomes*, un pathogène racinaire très répandu), mais également technico-économiques, l'export des souches entraînant une réduction des frais de reboisement.

Dans l'hypothèse où des schémas sylvicoles très intensifs devaient émerger au-delà du cas des Landes de Gascogne, la question des souches se posera, car leur présence constitue des obstacles dans le cas d'un reboisement.

PARTIE 3. IMPACTS POTENTIELS SUR LA FERTILITÉ DES SOLS ET COMPENSATION, NOTAMMENT PAR LES CENDRES

ENCADRÉ 3. LE PRINCIPE DE LA MÉTA-ANALYSE APPLIQUÉ À LA QUESTION DE L'IMPACT DES RÉCOLTES FORESTIÈRES SUR LA FERTILITÉ DES SOLS ET DES PEUPELEMENTS

Une méta-analyse est une démarche statistique combinant les résultats d'une série d'études indépendantes sur un problème donné. La méta-analyse consiste à considérer chaque étude publiée comme étant un échantillon de l'ensemble de la population que l'on souhaite étudier.

L'analyse s'est basée sur la littérature scientifique internationale, nationale et la littérature dite grise (c'est-à-dire non indexée). La collecte de données de la littérature a suivi les règles de la méta-analyse (Gurevitch & Hedges, 1999).

Pour permettre la comparaison de forêts qui diffèrent sous divers points de vue (essence, climat, sol, etc.), le traitement statistique consiste à calculer l'effet du traitement (ici, une parcelle forestière soumise à une récolte de rémanents) par rapport à un témoin (ici, une parcelle de la même forêt mais simplement soumise à une récolte conventionnelle de tige bois fort). Quatre types de récoltes de rémanents ont été étudiés (voir Figure 2). L'effet de l'écorçage in situ des troncs a également été étudié. La très grande majorité des études publiées ne distinguant pas les branches « bois fort » des menus bois, il n'a pas été possible de scinder le compartiment des branches en classes plus précises.

*L'analyse a été menée sur **230 articles scientifiques** au niveau mondial, soit **749 cas d'étude**, dont **306 sur feuillus**, **434 sur résineux**, **9 sur des mélanges feuillus résineux**.*

Dans le cadre de l'analyse des impacts (fertilité des sols et productivité), environ 130 références ont été utilisées.

8. LA RÉCOLTE DE RÉMANENTS AUGMENTE DE FAÇON IMPORTANTE L'EXPORTATION DE MINÉRALOMASSE PAR RAPPORT A UNE RÉCOLTE CONVENTIONNELLE

Un apport important de l'étude RÉSOBIO a été d'établir que non seulement la **nature des compartiments exportés** mais également le **stade de développement** des arbres influencent fortement les quantités de biomasse et de nutriments exportés bien davantage que l'essence considérée.

L'augmentation des exportations est particulièrement importante lorsque le **feuillage** est récolté, malgré la faible biomasse de ce compartiment.

Par contre, la récolte de **souches** sans les racines latérales a des effets relativement faibles sur les exportations de nutriments hors de l'écosystème.

En ce qui concerne la dimension des compartiments exportés, l'impact de la récolte sur l'écosystème (pertes de nutriments, stock de carbone, activité microbiologique) augmente à mesure que les **diamètres** des tiges diminuent, si bien que la récolte d'arbres entiers conduit à une plus forte exportation relative pour les plus jeunes arbres.

La part des menus bois est plus importante pour les plus petites tiges : ainsi, l'impact des récoltes d'arbres entiers augmente fortement en deçà d'un diamètre à 1m30 de 10 cm pour les feuillus et de 20 cm les résineux. Au-dessus de ce seuil, l'impact du même type de récolte sur les exportations de nutriments est moindre, mais non négligeable.

Enfin, l'augmentation des exportations est également **plus importante pour les résineux** (en particulier pour les résineux à canopée dense comme l'épicéa, le sapin et le douglas) que pour les feuillus.

ENCADRÉ 4. DES ÉQUATIONS RELIANT BIOMASSE ET MINÉRALOMASSE : UN APPORT DE RÉSOBIO À VALORISER

Pour différentes essences, des équations sont proposées pour estimer les ordres de grandeur des exportations de minéralomasses en fonction des scénarios de récolte. La compilation de nombreuses études a permis de compléter les relations entre minéralomasses et biomasses de bois fort, antérieurement établies. Ces connaissances pourront servir de base à des travaux de R&D à des fins de généralisation et de mise à disposition des gestionnaires qui souhaiteraient comparer l'effet de différents scénarios sylvicoles.

9. LES EFFETS D'UNE RÉCOLTE ACCRUE DE RÉMANENTS SONT PLUS NETS SUR LA FERTILITÉ DES SOLS, LA MATIÈRE ORGANIQUE, ET L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL, QUE SUR LE STATUT NUTRITIONNEL ET LA PRODUCTIVITÉ DES PEUPELEMENTS

Les exportations de nutriments liées à la récolte de rémanents peuvent être importantes si on les compare aux stocks de nutriments du sol. Elles entraînent (i) une diminution des stocks de **matière organique**, de **carbone**, une modification de l'activité biologique et des communautés microbiennes des sols, (ii) une diminution significative des **stocks de nutriments** comme l'azote, le phosphore ou le calcium, ce qui n'affecte toutefois pas de façon générale le **statut nutritif des arbres**, même si des cas avérés de stress nutritionnel, notamment en calcium, sont parfois observés dès la première génération post-récolte, (iii) une baisse significative quoique généralement modérée, de la **croissance des arbres** (baisse moyennes d'environ 3-7 %).

De manière générale, les effets sont les plus marqués lorsque le feuillage est exporté et semblent s'estomper au-delà de la décennie, même si ce dernier constat est à nuancer par le faible nombre d'études à moyen et long termes.

La récolte de rémanents peut en outre conduire à un **tassement du sol** (complémentaire à celui occasionné par les engins conventionnels de récolte), dont l'ampleur est toutefois très variable en fonction du type de sol, de son humidité et de la récolte.

Les données disponibles ne permettent pas, pour autant, notamment en raison de la rareté des expérimentations de longue haleine, de répondre à des questions importantes comme (i) l'identification des écosystèmes les plus sensibles à une perte de productivité, (ii) l'importance des effets à long terme (au-delà de 10 ans) (iii) l'existence (probable) d'un effet cumulatif de récoltes successives sur la productivité.

10. DES INDICATEURS SIMPLES ET PERFORMANTS POUR CARACTÉRISER LA SENSIBILITÉ DES SOLS À L'EXPORTATION DE RÉMANENTS FONT ENCORE DÉFAUT

Plus les sols sont pauvres en nutriments, plus les effets de la récolte des rémanents sur la croissance après récolte sont prononcés. Inversement, une récolte de rémanents peut ne pas avoir d'effets négatifs sur les sols les plus riches. Il est donc crucial de pouvoir bien appréhender la sensibilité et la résilience d'un écosystème forestier à la récolte de rémanents. Or, à l'heure actuelle, on ne dispose pas, d'indicateur pertinent de la sensibilité des sols vis-à-vis de la récolte de rémanents. En effet, les variables proposées par le guide ADEME 2006, à savoir la **texture du sol** (sol sableux, limoneux,...), le **type d'humus** et le **pH du sol** ne permettent de qualifier qu'assez grossièrement la sensibilité d'un écosystème forestier à la récolte de rémanents.

Dans le cadre de RÉSOBIO, une étude a consisté à explorer l'intérêt d'ajouter le **taux de saturation**⁴ du sol (noté S/T, en %) pour affiner le diagnostic du guide. Les données issues d'un échantillonnage systématique (maille 16 x 16 km) de l'ensemble de la France (campagne BIOSOIL), et celles du réseau RENECOFOR (102 placettes), ont été utilisées pour tester cette approche. L'étude n'a pas permis de

⁴ Le taux de saturation du (complexe adsorbant du) sol est la proportion des sites du complexe adsorbant effectivement occupés par les cations échangeables alcalines et alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) à un moment donné, pour un horizon du sol.

montrer une pertinence supérieure de l'utilisation du taux de saturation en cations alcalins et alcalino-terreux (rapport S/T) par rapport au pH pour caractériser de manière simple la sensibilité des sols à l'exportation de rémanents. En outre, elle a remis en cause la **correspondance entre les seuils de pH et ceux basés sur les formes d'humus** proposée dans le guide ADEME, ce qui peut mener à des erreurs de diagnostic pour la sensibilité des sols aux exportations de rémanents. En attendant d'autres résultats de recherche (projets ADEME en cours sur cette thématique), il est proposé de conserver les seuils de la variable pH du guide ADEME pour diagnostiquer grossièrement la sensibilité des sols à l'export de rémanents.

11. LE RETOUR DE CENDRES EN FORÊT : MOTIVATIONS, INTÉRÊTS AGROGRONOMIQUE ET ÉCONOMIQUE

Les cendres de bois présentent toutes les propriétés chimiques d'un amendement minéral, avec un pH et une capacité élevée de neutralisation des acides (Augusto *et al.*, 2008) et des quantités non négligeables d'éléments nutritifs majeurs tels que Ca, Mg, K et P (mais pas de N), ainsi que des oligo-éléments. On peut donc les assimiler, sur un plan agronomique, à un amendement minéral basique.

Dans les pratiques d'amendement, il faut souligner l'importance de raisonner un certain **équilibre d'apport entre les différents éléments nutritifs, issu d'un diagnostic de fertilité du sol**. La valorisation des cendres doit donc aussi se raisonner en envisageant les besoins de complémentation (dolomie pour le magnésium, éventuellement des boues ou engrais verts pour l'azote, etc.).

Valoriser les cendres de bois par des épandages en forêt, sous réserve de leur innocuité sur l'environnement (notamment les éléments traces métalliques ou ETM, précédemment appelés métaux lourds), pourrait donc s'envisager pour différentes motivations : en *compensation* des nutriments (hors azote) exportés avec l'exploitation de la biomasse⁵, la recherche d'une *restauration* de sols acidifiés par les prélèvements historiques de biomasse et les pluies acides (avec ajout possible de dolomie⁶) ou, dans une perspective agronomique d'*accroissement de la production*.

De l'expérience acquise principalement dans les pays du nordiques et les pays germanophones, on retient que (i) le **conditionnement** des cendres (auto-durcissement, granulation, combinaison avec de la dolomie) est essentiel pour permettre une libération progressive des éléments, qui est recherchée en forêt, et/ou compléter les cendres, et (ii) les effets sont variables selon les types de sol, la forme des cendres épandues (forme de conditionnement, compléments minéraux ou organiques), et les quantités apportées. Ainsi l'effet sur le pH de doses inférieures à 4 tonnes/ha est très limité, et l'effet sur la croissance des peuplements est très variable selon les sites (effet modéré dans le cas de sols minéraux acides, positif pour les sols organiques (type tourbières drainées) (Augusto *et al.*, 2008).

Malgré un certain développement de ces pratiques à l'étranger, les **analyses économiques** sur le recyclage des cendres en forêt restent peu nombreuses. Ces analyses doivent prendre en compte les coûts directs (conditionnement des cendres, transport, épandages, etc.) et indirects (risques), mais aussi les bénéfices de ces épandages (production, santé des forêts, substitution à des importations de potasses, etc.).

12. DES RISQUES ÉCOLOGIQUES LIÉS AU RETOUR DE CENDRES EN FORÊT PROBABLEMENT LIMITÉS MAIS DES PRÉCAUTIONS À PRENDRE

Dans le cadre d'apports modérés (quelques tonnes par hectare) sur une révolution de peuplements, les risques de contamination par les ETM apparaissent faibles du fait de l'**augmentation du pH** liée à l'apport de cendres qui suffit à limiter la mobilité des ETM, même sur sols acides. Cette conclusion vaut pour tous les composants étudiés (microflore, microfaune, mammifères, mousses, plantes), à l'exception de certains champignons.

Les apports de cendres entraînent une modification de la **biodiversité**. Les effets sur la végétation, les champignons et la faune du sol sont très variables mais semblent augmenter avec la quantité de cendres

⁵ Cette *compensation* est par exemple mise en œuvre en Suède dans les plantations après exportation de la biomasse lors de la coupe finale.

⁶ Cela se pratique notamment dans certains Lander allemands.

épanchées et lorsque les cendres sont non stabilisées. Les risques éventuels encourus par certaines espèces patrimoniales mériteraient d'être précisés.

Concernant les effets sur l'eau, il n'y a pas d'éléments suggérant que l'apport de cendres, conduites selon les recommandations d'usage, puisse représenter un risque de pollution des eaux par les ETM à court et moyen terme. Une bonne connaissance de la composition chimique des cendres, des propriétés du sol et de leur interaction est nécessaire pour éviter ces situations. Une synthèse spécifique mériterait d'être réalisée sur le sujet.

A noter en outre que les cendres (qui ne comportent pas d'azote) peuvent stimuler l'activité microbienne du sol et la libération d'azote. Dans des sols riches en azote, des risques de lessivage de nitrates peuvent exister après apport de cendres, alors que des sols peu fertiles, l'apport de cendres est conseillé en complément d'une fertilisation azotée, pour augmenter la disponibilité de l'azote en stimulant l'activité microbienne. Ceci illustre l'importance de raisonner l'équilibre entre les différents apports en fonction du sol.

Dans les pays autorisant les épandages de cendres (forêt et/ou agriculture), des **seuils de concentration admissible** en ETM ont été établis. Dans les guides suédois et finlandais, des recommandations sont par ailleurs apportées telles que des restrictions sur les périodes d'épandages, des distances minimales à respecter par rapport aux fossés, cours d'eau, et bordure de lacs, la non cueillette de champignons et de baies par le public l'année de réalisation des apports.

13. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET PRISE EN COMPTE DANS LE SYSTEME DE CERTIFICATION DU RETOUR DES CENDRES EN FORÊT

S'agissant de l'épandage de cendres en forêt en France, celui-ci n'est (comme pour les boues) pas autorisé, les cendres étant classées parmi les déchets par la **réglementation**.

Selon les caractéristiques analytiques des cendres, les producteurs les éliminent en centre d'enfouissement, ou s'organisent pour les valoriser au travers de plans d'épandage agricole, ou les transportent jusqu'à des plateformes de co-compostage.

Mais la réglementation évolue : à partir du 1^{er} janvier 2016, un nouvel arrêté datant de 2013 autorisera l'épandage de cendres en sols agricoles et en forêts exploitées⁷ pour les installations de combustion de puissance < 20 MW. sous réserve de conditions de pH du sol (pH>6, ou pH>5 sous réserve que l'amendement remonte le pH d'une unité), de respect de concentrations en ETM des cendres et des sols et de flux d'apport. Les conditions d'application sont cependant très restrictives pour la forêt, pour laquelle les épandages à but de restauration/remédiation seraient à réaliser majoritairement sur des sols acides (pH<5).

En matière de **certification**, les systèmes PEFC et FSC accordent leur label en cas de pratiques de recyclage de cendres de bois en forêt dans les pays nordiques et en Autriche. La Suède et la Finlande, pratiquent des retours de cendres depuis plusieurs années et disposent d'un cadre de préconisations sur les quantités à apporter, les niveaux minimums d'éléments fertilisants, les formes des cendres, leur composition avec des niveaux minimums d'éléments nutritifs et des seuils maximums de concentration en ETM pour maîtriser les risques d'impacts sur l'environnement.

En France, le Cahier des charges national pour le propriétaire forestier de PEFC (2012-2017) recommande « *pour assurer un bon fonctionnement biologique des sols, de ne pas recourir aux engrais et aux fertilisants sauf en cas de nécessité constatée, et en aucun cas à proximité de ripisylves, des zones protégées et des habitats remarquables* ». Le recours aux engrais et fertilisants est considéré à titre exceptionnel pour les apports de phosphore sur pin maritime en Aquitaine, et les apports d'azote sur peupliers et noyers. Concernant les amendements minéraux basiques, PEFC France n'apporte pas de recommandations particulières sur le sujet.

Pour autant, la question des cendres appelle une réflexion plus large que celle de leur intérêt potentiel pour compenser des exports accrus de nutriments liés à l'exploitation des rémanents. Les cendres de bois présentent des propriétés d'amendement minéral basique, dont l'usage mérite d'être étudié dans une logique d'économie circulaire.

⁷ le sens de "forêt exploitée" n'est pas précisé dans l'arrêté.

PARTIE 4. CONSÉQUENCES POUR LA BIODIVERSITÉ

Les rémanents constituent, en plus des bois morts issus de la mortalité naturelle, un habitat voire une ressource pour de nombreuses espèces. Au premier ordre, les espèces dites saproxyliques (principalement insectes, champignons, bryophytes et lichens) sont par définition dépendantes du bois mort pour une partie au moins de leur cycle de vie ; certaines sont plus particulièrement dépendante du bois mort au sol. Pour d'autres espèces, les rémanents constituent une protection physique et/ou créent les conditions microclimatiques qui leur sont favorables.

14. LA DIVERSITÉ DES PIÈCES DE BOIS AU SOL : UN ÉLÉMENT CRUCIAL POUR LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ *DIRECTEMENT* LIÉE AUX RÉMANENTS

Bien plus que le volume total de bois mort au sol, c'est la diversité des types de pièces de bois mort qui joue un rôle déterminant pour la biodiversité des espèces saproxyliques (Bouget *et al.*, 2012). Les communautés présentes dans les petits bois morts ne sont pas un sous-échantillon de celle des gros bois morts, et, les pièces en état de décomposition hébergent des assemblages d'espèces différents (et plus riches) des pièces fraîches. Les grosses pièces ne peuvent remplacer les petites pièces, pas plus que les éléments morts de la canopée ne peuvent se substituer à celles au sol. Ainsi, l'extraction des rémanents et la modification des caractéristiques du compartiment bois mort – notamment la disparition de certains types – qui en résulterait pourrait impacter l'ensemble de la biodiversité associée.

15. DES COMPOSANTES DE BIODIVERSITÉ *INDIRECTEMENT* LIÉE AUX RÉMANENTS, NOTAMMENT L'ABRI OFFERT À DIVERSES ESPÈCES ET LES MODIFICATIONS INDUITES DES SOLS

Les bois morts au sol peuvent offrir, le temps de leur décomposition, un **abri temporaire** à divers arthropodes rampants au sol, rongeurs, reptiles et amphibiens, oiseaux nichant au sol et même certains mustélidés.

Les menus bois constituent en outre un **effet mulch** qui limite le développement des espèces de milieux ouverts (souvent extra-forestières) favorisées par la coupe. Cette protection microclimatique est importante pour certaines bryophytes qui réagissent très négativement à l'extraction des rémanents. Les rémanents peuvent protéger certaines espèces végétales, notamment les jeunes tiges des essences forestières en régénération, contre la dent des grands herbivores sauvages, mais les résultats restent controversés.

Cette biodiversité associée aux rémanents constitue à son tour une ressource pour les niveaux trophiques supérieurs (oiseaux, carnivores). Ces effets de **cascade trophique** sont probables mais encore peu documentés. La récolte des débris grossiers impacte négativement les communautés d'oiseaux et d'insectes de la faune du sol, alors que la présence de rémanents augmenterait la valeur des milieux comme aires de chasse pour les mammifères carnivores et probablement les chauves-souris.

Par ailleurs, le bois mort au sol joue un rôle majeur dans le fonctionnement de la **biodiversité du sol**. Le bois au sol est un habitat essentiel pour de nombreux microorganismes, notamment fongiques et bactériens. Il retient l'humidité, accumule l'azote et le phosphore, augmente le taux de carbone organique et constitue un habitat pour les organismes saprophytes mais aussi pour les cortèges ectomycorhiziens⁸ et bactériens dans les forêts matures. L'impact de l'exploitation des rémanents sur la biomasse microbienne a principalement été étudié en forêt résineuse sub-boréale où les temps et types de réponses des différents taxons sont variables. Alors que la distribution spatiale de la méso et macro-faune du sol est fortement impactée par la localisation des rémanents (Aubert *et al.*, 2005), les effets de l'exportation des résidus ligneux sur la faune du sol impliquée dans les chaînes de recyclage de la matière organique ont été très peu étudiés (Bouget *et al.*, 2012).

⁸ Les mycorhizes sont des associations symbiotiques entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Elles favorisent, entre autres, l'absorption des éléments minéraux de la rhizosphère et du sol, et améliorent ainsi la nutrition de la plupart des espèces végétales. Une ectomycorhize qualifie un type de mycorhize où les hyphes pénètrent peu dans la racine et restent extérieures aux cellules.

16. LES SOUCHES POURRAIENT CONSTITUER DES SUBSTRATS DE SUBSTITUTION DANS LE PAYSAGE FORESTIER POUR UNE PARTIE DE LA FAUNE SAPROXYLIQUE

Les souches, résultat de l'exploitation des tiges, représentent environ 1/5 du volume de bois dans les parcelles forestières. Elles recèlent des niveaux de richesse en espèces saproxyliques assez élevés. Dans les jeunes stades sylvicoles, elles constituent l'essentiel des grosses pièces de bois mort, et peuvent assurer une continuité spatiale et temporelle entre habitats de tous stades de décomposition : elles pourraient donc avoir un rôle d'habitat de substitution dans le paysage forestier,

Ce rôle pourrait être d'autant plus important que le pool régional d'espèces a été filtré par la foresterie, à l'instar des peuplements cultivés de Pin maritime des Landes de Gascogne : la plupart des espèces d'insectes rencontrées dans les bois morts de divers types sont de fait retrouvées dans les souches. C'est pourquoi les souches, qui agissent en concentrateurs locaux de biodiversité, peuvent être considérées comme des substrats de substitution pour la faune actuelle naturellement associée aux grosses pièces de bois mort. Des observations semblables sont rapportées pour certains taxons, particulièrement les bryophytes dans les chênaies.

Cependant, le maintien des rémanents et souches en forêt peut, dans certains contextes, accroître les risques de transmissions de certaines pathogènes racinaires, dont le fomes. L'élimination des souches des coupes à blanc a montré une bonne efficacité dans la lutte contre les pathogènes majeurs. Plus généralement, c'est l'ensemble du système pathogènes – espèces auxiliaires (régulatrices de ces ravageurs) qui peut être modifié par la récolte et l'export des rémanents.

17. LES PRATIQUES DE RÉCOLTE DES RÉMANENTS ONT DES EFFETS POTENTIELLEMENT IMPORTANTS SUR LA BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE

Les **pratiques connexes** à la mobilisation des rémanents ont des impacts potentiels importants sur la biodiversité.

Ainsi, le **stockage des rémanents** (quelques mois) et des **souches** (de 1 à 2 ans) en forêt permet de relâcher les principaux nutriments, mais peut attirer massivement les espèces sur un support destiné à être exporté et détruit. Si les espèces délaissent les éléments originels isolés dans les parcelles au profit de ces structures agrégées, le stockage des rémanents en forêt pourrait alors constituer des « **puits écologiques** ». Toutefois, les quelques études scientifiques ayant abordé cette question n'ont pas mis en évidence d'effet puits écologique majeur. Les espèces étudiées se maintiennent généralement dans les peuplements voisins avec des niveaux de populations viables.

En outre, les **passages d'engins** supplémentaires liés à la récolte des rémanents peuvent entraîner, dans certaines conditions, des dégradations des bois morts en décomposition et un tassement des sols qui limite l'aération des sols et l'infiltration de l'eau, affecte l'activité biologique des sols et impacte donc les communautés végétales et de faune du sol.

18. IMPORTANCE DES GRANDES ÉCHELLES DE TEMPS ET D'ESPACE POUR APPRÉHENDER LA CONSERVATION DES ESPÈCES LIÉES AU BOIS MORT

La conservation de la biodiversité associée au bois mort dépend in fine du bilan, à l'échelle des **paysages**, entre le bilan des exports et apports de bois morts (y compris la génération de bois mort au sol que des fréquences spatiales et temporelles d'exploitation peuvent amener), et des mesures de conservation prises dans certaines zones (mesures de conservation du bois mort, mise en place de peuplements en libre évolution et à âge d'exploitabilité reculé, etc.).

La conservation des espèces associées doit également s'envisager à la lumière d'une possible **dette d'extinction** (rémanence des impacts des pratiques anciennes) et réciproquement d'un **crédit de colonisation** (temps pour que les mesures de conservation montrent leurs effets). Ces évolutions sur le temps long restent difficiles à appréhender en raison de l'absence d'études historiques sur le sujet (*a fortiori* pour des groupes d'espèces ordinaires à faible enjeu patrimonial), et du peu de connaissances sur les dynamiques des populations qui en résulte.

ENCADRÉ 5. PRINCIPALES PISTES DE RECOMMANDATIONS POUR UNE BONNE GESTION DES RÉMANENTS FORESTIERS

L'analyse des connaissances sur la question des rémanents a permis d'identifier un certain nombre de **pistes potentielles** pour des **recommandations** aux gestionnaires et exploitants forestiers. La formulation des recommandations fera l'objet d'un travail ultérieur

Les principaux éléments autour desquels ce travail devra s'organiser sont résumés ci-dessous.

Dans le domaine de la fertilité minérale :

- la **nature des compartiments** concernés sont le **feuillage** , les **écorces** , les **troncs de faible dimension** , et le cumul des ces compartiments en cas d'exportation d' **arbres entiers** . ;
- les **modalités de récolte** pèsent directement sur la nature des compartiments exportés, les performances des différents systèmes de bûcheronnage (classique, mécanisé avec façonnage, têtes d'abattage pour la récolte d'arbres entiers) étant, de ce point de vue, très variable ;
- la **période de récolte** module fortement les exportations (récolte hors période de végétation pour les essences caducifoliées, risque de tassement accru hors période de végétation, utilisation éventuelle de rémanents pour éviter les tassements et orniérages, ce qui rend alors impossible leur récolte) ;
- les **modalités de stockage** des rémanents, en vue de leur séchage (qui vont influencer sur le relargage des éléments nutritifs). Le stockage en piles hors des parcelles entraîne un transfert local de la fertilité ;
- les **modalités** éventuelles **d'une fertilisation compensatoire** : doses et nature des produits, conditions techniques et environnementales de l'épandage.

Dans le domaine de la biodiversité :

- la **proportion de la parcelle en chantier, ou la proportion de parcelles en chantier au sein d'un massif** , concernée par le ramassage des rémanents ;
- la **diversité des pièces de bois mort au sol** : en taille, en essences (il est avantageux que les essences présentes dans le peuplement soient également présentes dans le bois mort), en stades de décomposition des pièces de bois (les pièces de bois en décomposition ont un rôle important du point de vue biodiversité, particulièrement les pièces en état de décomposition avancée) ;
- la **nature du bois exporté** : bois « frais » (issu de l'exploitation) uniquement ou bois mort préexistant à la coupe ;
- le traitement (préservation éventuelle) des **sous-bois** non exploités (arbustes) et des **purges**
- le **stockage** éventuel sur site des rémanents avant export y compris la proportion de ce qui a été stocké (pour séchage, ressuyage et relargage des éléments nutritifs) qui ne serait pas exporté (prévention de l'installation d'espèces, notamment d'insectes, sur un substrat destiné à être exporté).
- le positionnement des **places de dépôts** (en forêt, au voisinage du peuplement exploité,...)
- les **effets collatéraux** possibles de la récolte des rémanents : tassement du sol (fonction des conditions du sol et de la circulation des engins) et préservation ou non de grosses pièces de bois, l'utilisation éventuelle de branches (de petites section) dans les parcelles sur les cloisonnements d'exploitation. - **l'ancienneté** ⁹ des forêts et le statut de protection éventuel

⁹ l'ancienneté fait référence à la continuité temporelle de l'état boisé : dans le contexte français, la tendance au déboisement s'est inversée à la charnière entre le 18^{ème} et le 19^{ème} siècle. On estime que la moitié des forêts françaises actuelles étaient alors des territoires agricoles — champs, prés de fauche ou pâtures plus ou moins intensives. Une forêt non déboisée depuis cette époque est définie comme « ancienne ».

ENCADRÉ 6. DES GUIDES ÉTRANGERS SUR LA GESTION DES RÉMANENTS

Pour actualiser le Guide ADEME (2006) sur la gestion des rémanents en forêt, il était intéressant de tirer parti de **l'expérience des pays étrangers**. Dans le cadre du projet RESOBIO, une recherche bibliographique a été réalisée, principalement dans les pays de langue anglaise. Les principaux enseignements de ce travail exploratoire sont les suivants :

- dans tous les pays anglophones (Royaume-Uni, USA, Canada, Irlande, Nouvelle-Zélande) auxquels on peut y ajouter les pays nordiques, des préconisations –souvent présentées sous forme de guides – visant à éviter les effets négatifs de la récolte de rémanents ont été formulées ;
- les guides ont souvent moins de dix ans mais se veulent **évolutifs** (exemple de la mise à jour du guide suédois) ; ils s'appuient sur les connaissances scientifiques, les retours d'expérience et des dires d'expert ; leur production implique souvent la participation de plusieurs parties prenantes ;
- les recommandations restrictives concernent principalement les zones les plus sensibles (écosystèmes rares et menacés), parmi lesquels les zones humides ;
- les **domaines** concernés sont en premier lieu la **fertilité du sol** (comme le Guide ADEME 2006), y compris les risques de **dommages physiques au sol**, et la **biodiversité** (en lien avec la taille et le degré de décomposition des résidus), puis, de façon moins systématique, **la perte de carbone** et **l'érosion au niveau du sol**, la **qualité de l'eau**, la **préservation des zones humides**, et la défense contre l'incendie.
- les recommandations qualitatives dominent ; les **outils d'aide à la décision** sont peu nombreux et prennent des formes relativement simples : classifications, diagrammes ou arbres de décision pour prendre en compte la richesse du sol ou l'intensité de l'exploitation ;
- par rapport aux guides étrangers, le Guide ADEME (2006) apparaît comme ambitieux ; en particulier la déclinaison de recommandations selon la **fréquence et le stade de récolte** n'ont pas d'équivalents.

PARTIE 5. BESOINS DE SUIVI ET DE RECHERCHE

Le projet RÉSOBIO a fait un état approfondi des connaissances sur la préservation des sols et de la biodiversité dans le cadre d'une exploitation accrue des résidus d'exploitation. Il a également permis d'identifier un certain nombre de besoins dans les domaines du suivi continu (monitoring) et de la recherche. Les paragraphes qui suivent en présentent succinctement les principaux, en commençant par ceux qui portent directement sur les rémanents, puis considérant des questions plus générales dont une meilleure compréhension permettrait de mieux appréhender la question de la gestion des rémanents.

19. MIEUX CONNAÎTRE LES PRATIQUES DE RÉCOLTE DE BOIS-ÉNERGIE

Les chantiers de récolte de bois-énergie sont le fait d'opérateurs nombreux et variés, et on ne dispose pas d'outils de suivi, alors que les engins de récolte et les pratiques évoluent rapidement avec le développement de la récolte. La détection de pratiques dont les effets pourraient être défavorables est donc difficile, et l'estimation de leur importance sur le terrain reste dans le domaine de l'avis d'experts.

Un **observatoire des pratiques de récolte de bois-énergie** serait ici de la plus grande utilité. Son l'objectif devrait être de :

- mieux appréhender les techniques réellement mises en œuvre (types de technique, volumes mobilisés) ;
- mieux comprendre leur évolution et les facteurs qui les déterminent ;
- formuler des recommandations de bonne gestion qui seront d'autant mieux suivies qu'elles seront réalistes.

Quel(s) mode(s) d'échantillonnage ? Quelles variables sylvicoles (nature des compartiments exportés) et écologiques suivre sur le terrain ? Ces questions n'ont pas de réponse immédiate. On note que les systèmes de suivi qui se déclarent représentatifs des chantiers forestiers concernés sont très rares (essentiellement la Suède, mais dans le contexte d'un questionnaire plus large de renouvellement des forêts après des coupes).

On parle ici d'un **outil spécifique**, car l'**inventaire forestier** (qui réalise environ 7000 sondages par an à l'échelle nationale) ne permet pas, pour des interventions sylvicoles très localisées, de suivre le détail de l'évolution des pratiques..

20. MIEUX CONNAÎTRE LA SENSIBILITÉ DES SOLS À UNE EXPORTATION ACCRUE D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX

En matière de gestion de la fertilité des sols, il y a un besoin bien identifié d'**indicateurs de sensibilité des sols à l'exportation de rémanents**. Idéalement, on souhaite des indicateurs à la fois simples, robustes et fiables.

Le travail consacré dans RÉSOBIO a montré qu'il n'existait pas, parmi les variables de sol et d'environnement communément étudiées, un indicateur qui réponde à ces besoins. Les indicateurs utilisés dans le guide ADEME (2006), pH et type d'humus, semblent identifier correctement les sites réellement sensibles, mais pourrait qualifier de *sensibles* à la récolte de rémanents *certain*s écosystèmes qui ne le sont pas, sans qu'il soit possible, en l'état actuel des connaissances, d'identifier ces sols *faussement sensibles*.

La poursuite de travaux qui permettront de quantifier/qualifier de manière plus précise la sensibilité et la résilience d'une forêt s'impose donc. Plusieurs projets de recherche, notamment au sein du programme REACTIF de l'ADEME sont en cours.

21. BESOIN DE RÉFÉRENCES ET MÉTHODES SUR L'UTILISATION DES CENDRES EN FORÊT :

L'utilisation rationnelle des cendres en forêt (qui suppose une évolution de la réglementation en la matière : voir § 12) nécessite le développement d'outils opérationnels permettant :

- de faire un diagnostic permettant de définir les apports (dans quelles situations ? quelles quantités ? quels éléments nutritifs ?),
- de constituer un guide technique pour aider aux choix logistiques (période, forme, engins d'épandage, etc.) et à la rédaction des cahiers des charges,
- de calculer les quantités de nutriments à apporter pour compenser les exportations.

Outre le manque en matière de références agronomiques, il faudrait développer des approches économiques et sociales.

22. MIEUX SUIVRE LES IMPACTS DES EXPORTS DE RÉMANENTS SUR LA BIODIVERSITÉ

La plupart des études publiées ciblent un groupe taxonomique particulier (principalement les insectes saproxyliques), abordant la question sous un angle descriptif et patrimonial. Peu d'études s'intéressent aux interactions entre divers groupes d'espèces, ou poussent l'analyse sur le terrain du fonctionnement de l'écosystème et la fourniture de services écosystémiques. De nombreux sujets tels que les interactions avec les espèces auxiliaires des pathogènes, les décomposeurs du bois mort, les espèces stratégiques dans le fonctionnement des sols et pour la fertilité mériteraient de recevoir une attention plus soutenue. Cela s'explique par la jeunesse de ces concepts, le renouveau très récent de l'intérêt pour la mobilisation de cette fraction des bois, et donc le peu de recul sur le croisement entre biodiversité et mobilisation du bois énergie. Il y a là un champ de recherche important à développer.

Les exports de rémanents selon diverses modalités (arbre entier dans les premières éclaircies, houppiers et menus bois cédés à affouagistes, etc.) peuvent affecter le compartiment de bois mort et l'ensemble des espèces qui en dépendant, directement comme indirectement. Les résultats disponibles proviennent d'études d'écosystèmes boréaux, c'est-à-dire d'un contexte très différent sur un plan écologique, paysager, historique et social des forêts tempérées. Ces différences contextuelles très marquées motivent le besoin de conduire des études précises sur la réponse des communautés aux pratiques de récolte accrue de biomasse forestière sous nos latitudes. Les recherches doivent non seulement cibler les effets des pratiques déjà mises en œuvre (mobilisation des houppiers, récoltes arbres entiers en premières éclaircies), mais aussi envisager ceux de modalités innovantes de mobilisation (nouveaux engins, extractions de souches) et de fertilisation compensatoires.

23. MOBILISATION DES BOIS PAR LE PASSÉ ET MESURES CONSERVATOIRES ACTUELLES : QUELLE DYNAMIQUE DE LA BIODIVERSITÉ ?

Il est vraisemblable que la forêt ait été fortement appauvrie en bois mort par le passé, notamment avant que l'utilisation des énergies fossile ne soit généralisée ; ces bois morts constituaient alors une ressource énergétique essentielle pour les populations (Figure 1, § 1.). Néanmoins, la localisation et la quantification de ces prélèvements reste un verrou majeur et très complexe à lever, expliquant par là même le très petit nombre d'études rétrospectives des impacts écologiques des pratiques forestières anciennes.

Les quelques résultats disponibles, comparant les incidences d'usages intensif et extensif de la forêt par le passé, sur la biodiversité actuelle révèlent des effets peu importants, au niveau du sol comme à celui de la végétation herbacée (les résultats sur d'autres compartiments de la biodiversité étant très lacunaires). S'il semble que les sols sur-exploités aient déjà récupéré, les éléments d'information disponible ne permettent pas de trancher entre les deux hypothèses (i) du prélèvement moins important que supposé ou (ii) une dégradation plus forte et plus ancienne encore. Vu l'enjeu dans un contexte de développement de la production de bois-énergie, les recherches méritent d'être poursuivies dans ce domaine.

Par symétrie, les mesures de conservation (îlots de sénescence, réserves biologiques) prises pour restaurer les structures que les pratiques passées réduisaient, en même temps qu'une forêt privée de plus en plus morcelée et souvent non gérée (et donc propice au développement de ces structures), sont à même de favoriser le développement d'espèces jusqu'alors très contraintes. Mais la réponse de ces espèces n'est pas nécessairement immédiate, et l'on peut alors s'attendre à observer à l'avenir les bénéfices de ces mesures de conservation ou tendances conjoncturelles.. Des travaux sur le crédit de colonisation associé aux mesures conservatoires constituent une autre piste pour l'évaluation des politiques de conservation.

24. MIEUX CONNAÎTRE LES FLUX DE BOIS MORT DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

Le fait que le prélèvement de rémanents réduise le volume de bois mort en forêt semble assez évident. Pour autant, lors des récoltes de rémanents, une quantité importante de matière peut rester au sol,, et il faut ajouter à ces pertes la quantité de bois mort préexistant (même si une partie de ce bois mort est écrasé par les engins d'exploitation). Toutefois, les choses sont sans doute moins simples qu'il n'y paraît, et ce point mérite des investigations plus précises.

Pour formuler des recommandations pratiques, il faudrait disposer de bilans matière détaillés pour mieux comprendre **l'évolution du volume de bois mort à la suite de différents types de coupes**, sachant que les quelques travaux réalisés sur cette question ont montré que les volumes restants après récolte des rémanents peuvent être plus faibles que ceux avant coupe ou au contraire accroître fortement le volume de bois mort au sol. En revanche, la récolte portant majoritairement sur les débris grossiers, ce compartiment risque de s'appauvrir, tandis que les débris fins pourraient être, relativement à la situation avant récolte, plus abondants.

De plus, il est nécessaire de resituer ces opérations « nouvelles » dans la **tendance générale de dynamisation des itinéraires sylvicoles**. Cette dynamisation se caractérise par des interventions plus fréquentes dans le jeune âge, des durées de révolution plus courtes, et un recours accru à la mécanisation des exploitations. L'augmentation du rythme et/ou de l'intensité des éclaircies dans le jeune âge pourrait ainsi engendrer une augmentation du volume des rémanents produits, alimentant une réserve de bois mort de petite taille ; à l'autre extrémité du cycle, dans les peuplements mûrs, les pièces de bois de plus grosse section (houppiers) pourraient être préférentiellement prélevées. Le recours accru à la mécanisation pour la mobilisation des bois pourrait augmenter la destruction des pièces de bois mort en cours de décomposition.

En tout état de cause, la problématique est moins celle des seuils en volume que celles des assemblages des différents types de bois mort, ou de l'équilibre entre l'export des rémanents et l'augmentation du volume de bois mort généré par l'augmentation du nombre de parcelles mises en chantier. (voir §25).

La **gestion conservatoire de la biodiversité associée au bois mort** est un champ à investir au moyen d'études de génie écologique (ex. gestion des piles de rémanents en forêt) et d'approches intégrant les pertes liées à la récolte de rémanents et les bénéfices procurés par des mesures prises en faveur des structures âgées et sénescentes

A la difficulté d'appréhender l'évolution du bois mort dans le temps, s'ajoute l'articulation avec les processus spatiaux associés. Les **caractéristiques écologiques** (capacité de dispersion notamment) de **certaines espèces** leur permettent de migrer d'une zone devenue défavorable vers une zone refuge. Pour l'instant, les études disponibles ne permettent pas d'appréhender les impacts d'une politique de mobilisation accrue de biomasse au niveau « **paysage** » (massif forestier, bassin d'approvisionnement,...) sur la biodiversité.

Pour appréhender la dynamique spatio-temporelle du bois mort, question particulièrement difficile, le recours à la **modélisation** paraît indispensable. Les travaux disponibles sont peu nombreux et rendent mal compte des types de coupes et des bois morts générés et de la mortalité naturelle. Les outils de diagnostic de continuité dans le temps et l'espace ne pourront être développés que sur cette base.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubert M., Hedde M., Decaëns T., Margerie P., Alard D., Bureau F., 2005. Factors controlling soil macrofauna spatial pattern in a pure beech and a mixed beech-hornbeam forest. *Comptes rendus biologies* 328, 57-74.
- Augusto L., Bakker M.R., Meredieu C., 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems - potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil* 306, 181-198.
- Bouget, C., Lassaue A., and Jonsell M., 2012. Effects of fuelwood harvesting on biodiversity — a review focused on the situation in Europe. *Canadian Journal of Forest Research* 42,1421-1432.
- Cacot E., Eisner N., Charret F., Leon P., Ranger J., 2006. La récolte raisonnée des rémanents en forêt. ADEME, Collection *Connaître pour agir*, 36 p.
- Colin A., Barnérias C., Salis M., Thivolle-Cazat A., Coulon F. et Couturier C., 2009. *Biomasse ligneuse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie sur la période 2006-2020*. Rapport tech., ADEME/FCBA/ IFN/ Solagro, 74 p. + annexes.
- Deleuze C., Micheneau C., Richter C., Gardette Y.-M., Brêthes A., Gibaud G., Augusto L., Dupont C., Gautry J.-Y., Fraysse J.-Y., Rantien C., 2012. Le retour des cendres de bois en forêt : opportunités et limites. *Rendez-vous techniques*, 35, 16-28.
- Ginisty C., Chevalier H., Vallet P., Colin A., 2009. – *Évaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données de l'IFN nouvelle méthode*. Actualisation 2009 de l'étude « biomasse disponible » de 2007." Rapport technique Cemagref/IFN/DGFAR. n° E 10/08 du 19 juin 2008, 60 p.
- Grovel R., Pasquier F., Enaut Helou T., Barthelet D., Boittin E., Bois énergie : l'approvisionnement en plaquettes forestières. ADEME, EDP Sciences, 225 p.
- Gurevitch J., Hedges L. V., 1999. Statistical issues in ecological meta-analyses. *Ecology* 80, 1142-1149.
- Landmann, G., Gosselin, F. & Bonhème, I., 2009. *Bio 2: biomasse et biodiversité forestières : augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière, implications pour la biodiversité et les ressources naturelles*, Paris, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer – Ecofor, 210 p.
- Landmann G., Nivet C. (coord.), 2014. Projet RÉSOBIO, 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. <http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Rapport%20final%20Resobio%20-%202014-06-28.pdf>
- Pischedda D., (coord) 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt "PROSOL". Guide pratique, ONF, FCBA, 110 p.

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. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle 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, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

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

www.ademe.fr

ADEME



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

www.ademe.fr

