



HAL
open science

Bois-énergie : maîtriser les impacts

Manuel Nicolas, François Charnet, Jacques J. Ranger, Caroline Rantien, Alain Brêthes, Patrice Mengin-Lecreulx, Thierry Sardin

► **To cite this version:**

Manuel Nicolas, François Charnet, Jacques J. Ranger, Caroline Rantien, Alain Brêthes, et al.. Bois-énergie : maîtriser les impacts. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2007, 15, pp.36-45. hal-02664482

HAL Id: hal-02664482

<https://hal.inrae.fr/hal-02664482v1>

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Bois-énergie : maîtriser les impacts

S'il est d'une brûlante actualité, le bois-énergie n'est pas une nouveauté. Souvenons-nous : les débuts de l'ère industrielle, la surexploitation des taillis, la dégradation sévère et persistante des sols fragiles... Raisonons aujourd'hui en termes de gestion durable et préservons, entre autres, les sols.

Le développement du bois-énergie est une opportunité exceptionnelle de valorisation de bois d'éclaircie, de rémanents d'exploitation, de bois mitraillés ou encore de produits connexes de scierie. Il représente une source d'énergie plus « propre » vis-à-vis de l'effet de serre que le carbone fossile.

L'intensification correspondante de l'exploitation doit toutefois être conduite avec discernement afin de préserver la fertilité des sols et la pérennité des écosystèmes. Les pièces de faible section (rémanents, branches, perches...), ainsi que les feuillages, concentrent une grande quantité d'éléments nutritifs et leur prélèvement sans discernement peut notamment entraîner une perte de fertilité voire des carences minérales. Il est donc indispensable de moduler l'intensité des récoltes en fonction de la richesse minérale du sol.

Fertilité des sols et sensibilité des écosystèmes aux exploitations forestières

Les éléments nutritifs majeurs :

- N = azote
- P = phosphore
- K = potassium
- Ca = calcium
- Mg = magnésium

Le sol est le réservoir d'eau et d'éléments nutritifs (éléments majeurs : N, P, K, Ca, Mg) qui alimente l'écosystème forestier. Le stock d'éléments nutritifs biodisponibles, c'est-à-dire absorbables par les racines, constitue une faible partie du stock total contenu dans le sol. Il correspond le plus souvent à quelques dizaines d'années voire quelques années de prélèvement par les racines. Il se renouvelle toutefois rapidement par décomposition de la litière et des racines mortes. Les éléments minéraux circulent ainsi dans l'écosystème suivant un cycle rapide et efficace (successivement dans le sol, l'arbre, les feuilles, la litière et à nouveau dans le sol). Cela permet à l'écosystème de vivre avec une réserve limitée d'éléments nutritifs malgré les besoins importants des arbres. Le revers de cette efficacité est la relative vulnérabilité de la forêt aux perturbations du processus de recyclage des éléments nutritifs.

Le cycle n'est cependant pas fermé et des éléments nutritifs entrent et sortent de l'écosystème forestier selon les types de flux suivants (figure 1) :

Le cycle n'est cependant pas fermé et des éléments nutritifs entrent et sortent de l'écosystème forestier selon les types de flux suivants (figure 1) :

- les apports atmosphériques ;
- les apports par altération des minéraux contenus dans le sol (sauf pour l'azote), faibles sur des roches mères pauvres, siliceuses, comme les grès, mais importants sur les roches calcaires, les basaltes ou même certains granites par exemple ;
- les pertes par drainage vers les eaux souterraines ;
- les pertes par exportation (exploitation forestière principale).

Si le bilan de ces flux est négatif, le stock d'éléments biodisponibles

du sol s'amenuise et, à terme, des carences peuvent apparaître. La capacité d'un écosystème à supporter des exportations soutenues dépend donc des apports qu'il reçoit.

Les apports atmosphériques sont principalement des dépôts associés à la pluie, au brouillard et aux poussières en suspension dans l'air. Ils peuvent localement fournir des quantités importantes d'éléments nutritifs mais de manière très variable sur le territoire, suivant les courants atmos-

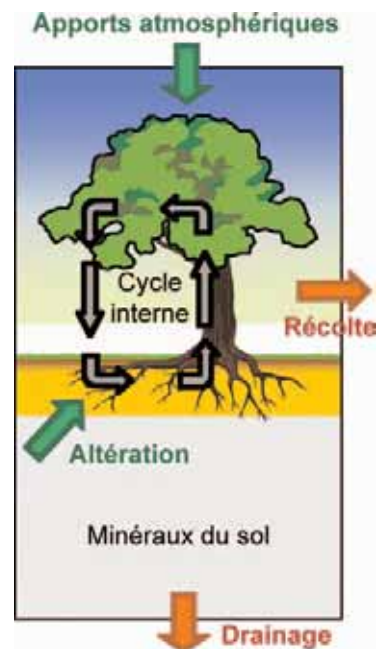


Fig. 1 : les éléments nutritifs dans l'écosystème forestier

Appports extérieurs en vert (altération des minéraux du sol, apports atmosphériques), pertes en rouge (drainage, exportation par récolte de bois et autres produits forestiers) et cycle interne en gris (absorption par les arbres, stockage dans les tissus végétaux, décomposition des litières, du bois et des racines)

phériques, la proximité de la mer, la proximité d'industries ou de zones d'épandage agricole par exemple. En outre, quand ils ne sont pas fixés par la végétation ou le sol (notamment hors période de végétation), certains dépôts, tels les nitrates, peuvent être drainés et appauvrir le sol en entraînant avec eux d'autres éléments nutritifs (Ca, Mg, K) (voir Croisé *et al.*, 2005, Rendez-Vous Techniques n° 7).

La fixation d'azote atmosphérique par certains micro-organismes entre également dans cette catégorie des apports atmosphériques. Plusieurs espèces végétales comme l'aulne ou le robinier sont capables de développer amplement l'activité de tels micro-organismes fixateurs d'azote. Ce n'est toutefois pas le cas des essences forestières les plus répandues sur notre territoire.

Les apports atmosphériques ont donc des effets complexes, variables et parfois négatifs, sur la nutrition minérale des arbres. Ils ne permettent généralement pas de compenser de fortes exportations d'éléments nutritifs dues à l'exploitation forestière.

L'altération des minéraux est le principal facteur de richesse chimique des sols. Elle peut libérer de grandes quantités d'éléments nutritifs sous forme biodisponible mais cet apport varie bien sûr énormément selon les minéraux en présence. Les forêts sont généralement situées sur des sols peu propices à l'agriculture : sols calcaires très caillouteux ou peu profonds et sols acides sur roches siliceuses (granites, grès, quartzites...) notamment.

Les roches calcaires contiennent une réserve importante d'éléments nutritifs (excepté l'azote) et leur altération peut facilement reconstituer le stock d'éléments biodisponibles.

En revanche l'altération des roches siliceuses alimente lentement ce stock. Les écosystèmes forestiers sur sols acides sont donc beau-

coup plus sensibles aux pertes d'éléments nutritifs dues à l'exploitation forestière.

L'intensification des exploitations sans discernement peut menacer la fertilité des sols

Nous l'avons vu, une exploitation forestière intensive peut entraîner un appauvrissement rédhibitoire du sol. Par exemple, de nombreux sols forestiers de l'Ouest de la France et du Massif Central ont été dégradés à la suite d'exploitations trop fréquentes de taillis pour l'alimentation des forges et des verreries (rotations de l'ordre 7 et 10 ans).

Rémanents = ensemble des pièces de bois laissées sur coupe après exploitation.

Le développement du bois-énergie sous la forme de plaquettes valorise notamment des produits forestiers de faibles dimensions

(rémanents, branches, perches...) délaissés par les filières d'industrie et bois-bûche. Quelle que soit l'essence, ces produits de faibles sections, ainsi que les écorces et plus encore le feuillage, sont très riches en éléments nutritifs par rapport au bois de tronc, alors qu'ils ne représentent qu'une faible part de la biomasse de l'arbre (figure 2). Ces produits se décomposent en outre rapidement (figure 3), ce qui les place au cœur des processus de recyclage naturel des éléments nutritifs et de maintien de la fertilité des sols.

Les études menées par l'Inra sur le site de Vauxrenard (voir encadré) ont permis de quantifier l'appauvrissement que peut engendrer la récolte des branches et des feuillages en plus des troncs sur des sols sensibles. Outre l'exemple de Vauxrenard, des travaux de recherche ont été conduits sur d'autres sites en France, en Europe et dans le monde, sur d'autres peup-

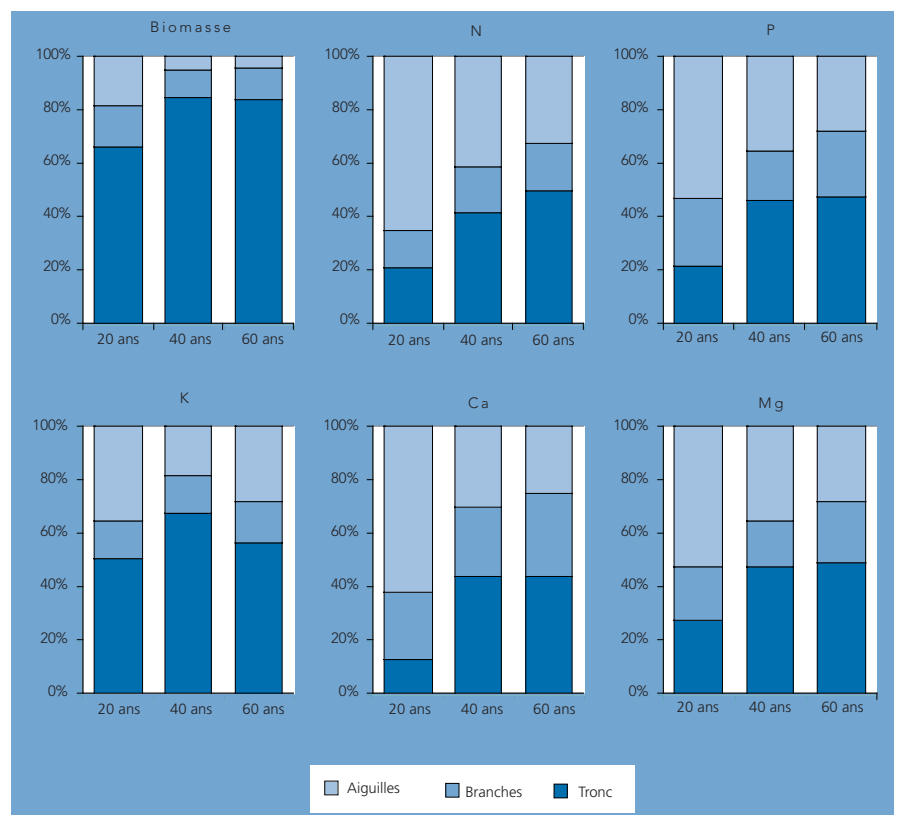


Fig. 2 : répartition de la biomasse et de la minéralomasse (N, P, K, Ca, Mg) entre le tronc, les branches et les aiguilles des douglas de 20, 40 et 60 ans de Vauxrenard (Marques, 1996)

Si les aiguilles et les branches constituent une faible biomasse, elles contiennent la majeure partie des éléments nutritifs des arbres.

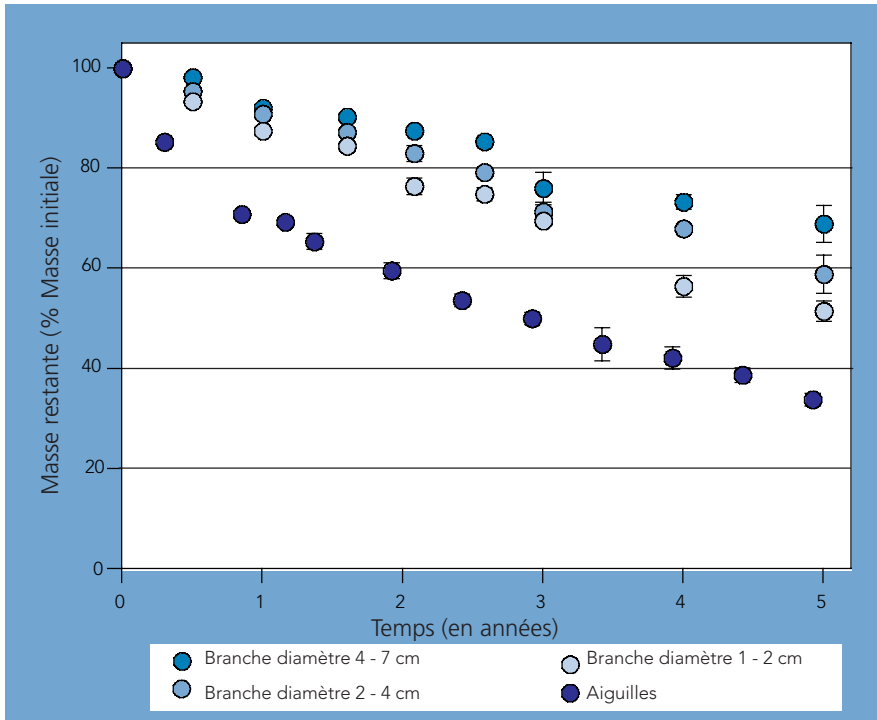


Fig. 3 : évolution sur 5 ans de la masse d'un échantillon d'aiguilles et de branches sur le sol des plantations de douglas de Vauxrenard (Zeller, Inra Nancy)

Les aiguilles et les branches fines se décomposent et restituent plus vite au sol les éléments nutritifs qu'elles contiennent que les grosses branches et a fortiori les troncs.

ments (épicéa, hêtre, pin maritime, taillis divers, eucalyptus...). A la lumière de l'ensemble des connaissances acquises, l'exploitation de rémanents ou d'arbres entiers ne devrait pas être envisagée sur des sols pauvres sans fertilisation compensatoire.

Autres impacts de l'intensification des exploitations forestières

L'intensification des exploitations forestières peut aussi entraîner un tassement et une érosion des sols plus importants, par des passages plus fréquents d'engins ou de remorques ainsi que par l'exploitation de branchages qui pourraient servir à protéger les cloisonnements parcourus. Il est donc très important de veiller aux modalités d'exploitation en fonction de la sensibilité des sols au tassement et à l'érosion (voir le

dossier sur les tassements de sol, Rendez-Vous Techniques n° 8, printemps 2005).

L'exploitation trop intensive des rémanents peut nuire à la biodiversité en réduisant les cortèges de décomposeurs ainsi que les habitats propices au développement de certaines espèces végétales comme les bryophytes ou à la nidification de certains oiseaux ou rongeurs (voir encadré).

La récolte des rémanents peut toutefois présenter certains avantages, tels que la réduction de la sensibilité des forêts aux incendies.

Site expérimental de l'INRA à Vauxrenard (d'après Ranger et al., 2002)

Localisation : Monts du Beaujolais (Département du Rhône)
 Altitude : 750 m
 Précipitations moyennes : 1 000 mm/an
 Température moyenne annuelle : 7 °C
 Sol : Allocrisol typique sur tuf
 Forme d'humus : eumoder à dysmoder
 Horizon A : pH = 4,3
 Peuplement en 1992 : plantations de douglas de 20, 40 et 60 ans sur anciennes terres agricoles
 Hauteur moyenne à 60 ans : 36 m



Le site de Vauxrenard a été étudié de 1992 à 1998. C'est un des rares sites en France sur lesquels ont été mesurés les principaux flux d'éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) entrant (apports atmosphériques, altération minérale) et sortant (pertes par drainage, exportations dues aux exploitations) de l'écosystème.

Le pH de l'horizon A et la forme d'humus décrite permettent de placer son sol dans la classe de forte sensibilité de la typologie du guide publié par l'Ademe.

Les mesures de biomasse et de minéralomasse (N, P, K, Ca, Mg) aux trois âges de plantation ont permis d'évaluer les exportations engendrées par l'exploitation selon 3 durées de révolution et 2 intensités de prélèvement (tableau A). On en déduit dans chaque cas la quantité d'éléments minéraux nécessaire à la production d'une tonne de biomasse (tableau B).

On observe globalement que le prélèvement des branches et des aiguilles accroît considérablement les exportations d'éléments minéraux, et ce d'autant plus qu'on exploite des arbres jeunes. Par contre les branches et les aiguilles offrent peu de biomasse à exploiter.

.../...

Mode d'exploitation	Révolution	Biomasse exportée (t/ha/an)	Exportations minérales (kg/ha/an)				
			N	P	K	Ca	Mg
Tronc seul	60 ans	6,7	6,7	0,5	3,3	4,4	0,6
	40 ans	6,6	7,0	0,5	6,4	3,6	0,7
	20 ans	3,3	4,7	0,4	6,0	1,7	0,5
Arbre entier	60 ans	8,0	14,2	1,2	5,7	10,8	1,2
	40 ans	7,8	16,6	1,2	9,5	9,2	1,4
	20 ans	5,0	22,2	1,6	11,9	13,1	1,9

Tab. A : exportations de biomasse et de minéralomasse selon la durée de révolution (éclaircies comprises) et le mode d'exploitation (arbre entier = tronc + branches + aiguilles)

Mode d'exploitation	Révolution	Efficacité de production (t de biomasse/kg d'élément)				
		N	P	K	Ca	Mg
Tronc seul	60 ans	1,0	12,3	2,0	1,5	11,6
	40 ans	1,0	12,2	1,0	1,8	10,0
	20 ans	0,7	9,1	0,5	1,9	6,3
Arbre entier	60 ans	0,6	6,8	1,4	0,7	6,7
	40 ans	0,5	6,4	0,8	0,9	5,6
	20 ans	0,2	3,2	0,4	0,4	2,7

Tab. B : efficacité de production (tonnes de biomasse produites par kg d'élément) selon la durée de révolution (éclaircies comprises) et le mode d'exploitation

	Profondeur de sol considérée	Mode d'exploitation	(kg/ha/an)				
			N	P	K	Ca	Mg
Apports atmosphériques			20,3	1,0	3,2	7,3	1,1
Altération	60 cm		0	0	7,5	0,9	1
	120 cm		0	0	14	1,8	2,5
Drainage			21,3	0,3	13,2	13,5	5,0
Exportation		Tronc seul	6,7	0,5	3,3	4,4	0,6
		Arbre entier	14,2	1,2	5,7	10,8	1,2

Tab. C : termes du bilan minéral pour une révolution du peuplement de 60 ans (éclaircies comprises)

Profondeur de sol considérée	Mode d'exploitation	Bilan minéral (kg/ha/an)				
		N	P	K	Ca	Mg
60 cm	Tronc seul	-7,7	0,2	-5,8	-9,6	-3,5
	Arbre entier	-15,2	-0,5	-8,3	-16,1	-4,1
120 cm	Tronc seul	-7,7	0,2	0,7	-8,7	-2,0
	Arbre entier	-15,2	-0,5	-1,8	-15,2	-2,6

Tab. D : bilan minéral calculé pour une révolution du peuplement de 60 ans (éclaircies comprises) selon le mode d'exploitation et la profondeur de sol considérée

En conséquence, l'efficacité de production de biomasse par kg d'éléments exportés se révèle bien moindre dans le cas de l'exploitation en arbres entiers (tableau B).

Considérons les autres flux extérieurs de l'écosystème étudié à Vauxrenard (tableau C) :

■ L'altération des minéraux du sol fournit peu d'éléments biodisponibles, notamment très peu de calcium et de magnésium. Le sol s'est en effet développé sur du tuf, une roche mère volcanique acide. L'évaluation des apports par altération dépend certes de la profondeur de sol considérée mais ces apports restent faibles en calcium et magnésium même sur une profondeur de 1,20 m.

■ Les apports atmosphériques sont très importants. En azote, ils s'élèvent notamment à 20 kg/ha/an, ce qui correspond au double de la moyenne enregistrée sur le réseau Renécofor. Les Monts du Beaujolais, comme l'ensemble de la vallée du Rhône ou encore les Vosges ou les Ardennes, subissent en effet les apports atmosphériques d'azote les plus importants en France métropolitaine.

■ Les pertes par drainage sont également très importantes, en lien avec les forts dépôts d'azote atmosphériques qui ne sont pas entièrement fixés dans l'écosystème par le sol ou par la végétation. Par ailleurs le douglas semble stimuler la minéralisation d'azote sous forme de nitrates, très mobiles dans le sol, et augmenter ainsi les pertes d'éléments nutritifs par drainage.

En faisant le bilan de ces flux (bilan = apports - pertes), on constate que les exportations d'éléments nutritifs liées à la récolte de biomasse jouent un rôle important. A Vauxrenard (tableau D), dans le meilleur des cas (en exploitant les troncs seuls et en considérant le sol sur 1,20 m de profondeur), l'écosystème est déjà en situation d'appauvrissement, en particulier en azote et en calcium. Le passage à l'exportation d'arbres entiers hors de la parcelle aggrave encore considérablement cette situation d'appauvrissement.

Il y a en France beaucoup de sols encore plus pauvres que ceux étudiés à Vauxrenard, notamment dans les Landes, les Vosges ou en Sologne. Mais, comme l'indique bien le guide de l'Ademe, ces sols de Vauxrenard se classent déjà comme fortement sensibles aux exportations d'éléments nutritifs et ne peuvent supporter aucune récolte de rémanents ou d'arbres entiers sans fertilisation compensatoire.

Le bois-énergie et la préservation de la biodiversité des forêts

Les forêts publiques qui sont souvent des forêts « anciennes » (c'est à dire à l'état de peuplements d'arbres depuis plusieurs siècles) abritent des espèces d'insectes et de champignons liés au bois mort de plus en plus rares en Europe (Brustel, 2001). L'ONF a donc une responsabilité particulière – pas seulement dans les réserves et les sites Natura 2000 – de conservation de ces espèces et donc de leur support de vie qu'est le bois mort.

L'écosystème forestier est constitué de producteurs (dont les plus visibles sont les arbres) et de décomposeurs de la matière organique. Les feuilles sont décomposées par une multitude d'organismes du sol (vers, bactéries, champignons...). Le bois mort, aérien ou au sol, est attaqué par les organismes saproxylophages au rang desquels figurent les larves des insectes saproxyliques. Par ailleurs, les vieux arbres sont souvent porteurs de cavités créées par les attaques de champignons au niveau des blessures des branches ou du tronc ou creusées par les pics. Ces cavités abritent de nombreuses espèces cavicoles pour leur reproduction ou l'abri (oiseaux comme les mésanges, le pigeon colombin, les chouettes, chauves-souris, loirs, insectes comme les abeilles, les frelons).

La récolte de bois pour l'énergie doit être raisonnée en veillant à préserver la biodiversité forestière. Elle devra donc épargner le bois mort ancien ainsi que les arbres à vocation biologique et prévoir la conservation sur le parterre de la coupe d'une partie des produits frais : il s'agit en effet de conserver le support de vie mais aussi de permettre un réapprovisionnement continu en bois mort de différentes tailles et d'essences variées au profit des espèces qui dépendent de ce matériau (ONF Bourgogne, 2003). Les rémanents conservés ont de plus un rôle dans la protection des graines, des semis et du sol dans ses caractéristiques physiques et chimiques (comme écrit dans l'article) mais aussi biologiques. Il faudra également veiller à ne pas perturber les espèces (oiseaux, mammifères) en période de reproduction, ni détruire les stations d'espèces végétales rares.

Jean-Marc Brézard (ONF)

Un outil simple et pratique : le guide de l'Ademe pour la récolte raisonnée des rémanents en forêt

Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
 Afocel : Association forêt cellulose
 IDF : Institut pour le développement forestier
 Inra : Institut national de la recherche agronomique
 UCCFF : Union de la coopération forestière française

Dans la perspective du développement du bois-énergie, l'Ademe a publié un guide pratique de gestion des rémanents (Cacot et al., 2006) destiné aux propriétaires et gestionnaires forestiers et librement téléchargeable sur Internet (liens donnés en références). Ce guide a été élaboré en partenariat avec l'Afocel, l'IDF, l'Inra, et l'UCCFF après un travail de synthèse bibliographique (Cacot et al., 2003), l'objectif étant de disposer d'outils pour raisonner l'intensité des prélèvements en fonction des potentialités des sols. Il est composé d'une typologie de sensibilité des sols en fonction de leur fertilité, puis de conseils pour la récolte des rémanents selon les classes de sen-

sibilité des sols et les types de peuplements.

■ **La typologie de sensibilité des sols** (figure 4) est simple d'utilisation. Elle distingue 3 niveaux de sensibilité avec plusieurs indicateurs possibles de diagnostic (texture du sol, forme d'humus, pH de l'horizon A, effervescence de la terre fine à l'acide, flore indicatrice). C'est donc un outil très pratique qui peut être mis en œuvre avec des connaissances rudimentaires en botanique ou pédologie. Il permet de repérer efficacement les situations à risque.

■ **Les conseils** se traduisent en pratique par un nombre de récoltes de rémanents à ne pas dépasser durant la vie du peuplement ou par un laps de temps minimum à respecter entre deux récoltes des troncs avec les branches pour les taillis, en fonction de la sensibilité du sol et du type de peuplement. Si l'exploitation dépasse ces limites, le guide préconise de fertiliser pour compenser les pertes en éléments nutritifs. Les doses de fertilisant (N, P, K, Ca, Mg) sont indiquées à cet effet pour une récolte supplémentaire de rémanents.

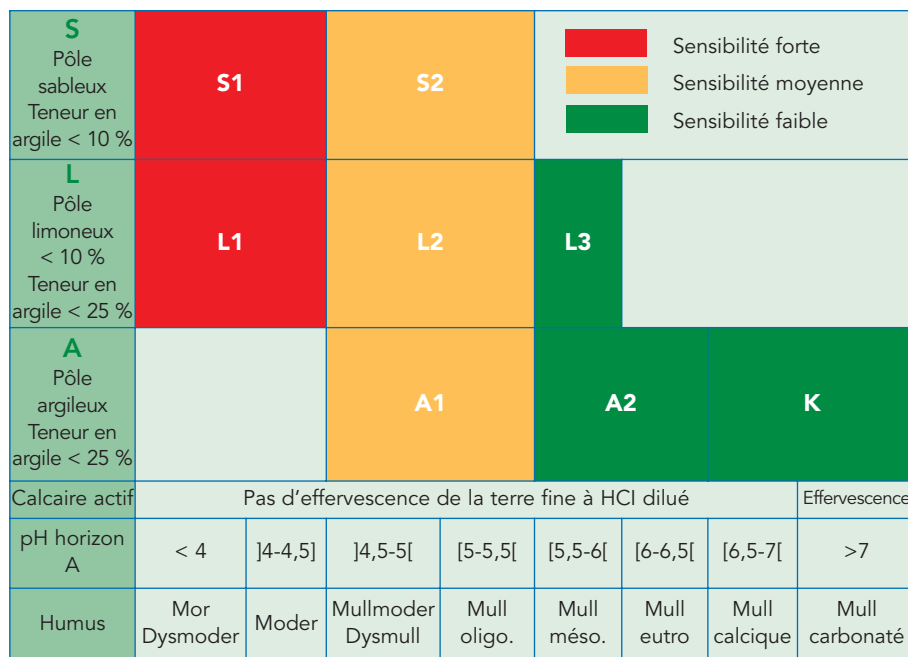


Fig. 4 : diagramme de sensibilité des sols en fonction de la texture et du niveau trophique (Ademe, 2006)

Dans tous les cas, quelle que soit la richesse de la station, il est recommandé de ne pas dépasser deux récoltes de rémanents dans la vie du peuplement.

Il est en outre recommandé que les rémanents sèchent sur le parterre de la coupe pendant quelques mois, ce qui permet d'éviter de prélever le feuillage, particulièrement riche en éléments nutritifs et sans utilité au titre de la production d'énergie.

Le guide suit donc une démarche de bon sens de maintien de la fertilité des sols :

- adapter l'intensité des prélèvements aux réserves nutritives des sols,
- compenser si nécessaire par fertilisation les exportations dues à l'exploitation.

Le partenariat initié entre l'Ademe, l'Afocel, l'Inra, l'IDF, l'UCFF et l'ONF se poursuit actuellement par l'étude précise des exportations minérales sur divers chantiers de production de plaquettes.

La production raisonnée de bois-énergie par l'ONF

Les connaissances de base étant posées, les développements qui suivent présentent la position de l'ONF.

L'établissement s'est engagé dans une politique volontariste en matière de production de bois-énergie. Il accompagne ainsi résolument la politique nationale de développement des énergies renouvelables et profite en outre de cette opportunité pour résoudre des problèmes récurrents (réalisation de premières éclaircies par exemple).

La récolte de bois-énergie doit bien entendu être effectuée de manière raisonnée, dans une perspective de gestion durable des sols. Cette mesure de bon sens fait d'ailleurs partie des engagements pris par l'ONF au titre de sa certifi-

cation ISO 14 001 à travers sa politique environnementale.

La position de l'Office, présentée dans la note de service n° 06-T-254, peut être résumée comme suit.

■ On aura recours à la méthode diagnostique du guide Ademe pour identifier le niveau de sensibilité des sols et adapter en conséquence les prélèvements de bois de faibles dimensions. On cherchera à valoriser les typologies et cartes de stations existantes qui peuvent faciliter la démarche diagnostique.

■ L'Office exclut le recours à la fertilisation pour compenser une exportation importante d'éléments nutritifs. La récolte doit donc être raisonnée en conséquence. La décomposition des rémanents et autres petits produits forestiers demeure en effet le meilleur processus de restitution aux sols de leurs éléments nutritifs.

Localement, l'ONF peut être en situation de gérer aussi des peupleraies et des taillis à courte révolution. Ces systèmes de culture intensifs dérogent bien entendu aux dispositions générales que nous venons d'exposer.

A ce stade il est nécessaire d'apporter des précisions sur deux sujets : la nécessaire distinction entre l'amendement et la fertilisation, et l'épandage de cendres de bois en

tant que fertilisation compensatoire. Sauf cas particulier de système de culture intensif, l'Office n'envisage pas le recours à la fertilisation pour augmenter artificiellement la fertilité d'une station ou compenser des exportations minérales excessives. La position est différente pour l'amendement, qui est un apport beaucoup plus limité, visant à améliorer le fonctionnement du sol à moyen terme sans modifier substantiellement la station. L'amendement mériterait d'être développé dans certaines situations : pour restaurer le fonctionnement de sols dégradés par des pratiques sylvicoles anciennes trop intensives, éviter des problèmes sanitaires liés à des carences minérales ou y remédier, corriger des situations d'acidification des sols et des cours d'eau qui posent problème (cas de certains bassins versants des Vosges par exemple). L'amendement devrait enfin permettre de corriger certaines situations de fragilité et d'améliorer la résistance aux stress climatiques qui risquent probablement de se multiplier à l'avenir. Là également, de telles dispositions devront être mises en œuvre de manière raisonnée. En partenariat avec l'Inra, le département recherche élabore un outil d'aide à la décision à cet effet.

L'épandage de cendres de bois, pratiqué en Finlande en particulier, est une solution alternative parfois évoquée pour restituer au sol les éléments nutritifs. En première analyse, cette formule n'est pas envisagée par l'établissement. En effet, ce mode de compensation ne restitue au sol ni l'azote ni le phosphore ni les matières organiques, entièrement transformés en gaz lors de la combustion du bois. Les cendres n'ont pas non plus les qualités des rémanents quant au maintien de l'humidité du sol ou à la protection des semis contre le gibier. Le développement d'une pratique d'épandage de cendres en forêts pourrait inciter des industriels peu scrupuleux à se débarrasser ainsi de cendres d'incinérateurs

Fertilisation ≠ Amendement

Il existe différentes approches d'apports d'éléments nutritifs au sol, selon le but visé et la forme des éléments apportés.

La **fertilisation**, entendue comme l'apport d'engrais, donc d'éléments rapidement assimilables par les arbres, a pour but d'accroître à court terme la production de bois.

L'**amendement** vise à améliorer à long terme le fonctionnement biologique et les propriétés physiques du sol par un apport de particules minérales grossières (concassé de calcite, de dolomite...), qui se dissolvent et libèrent lentement les éléments

en tous genres. Serait-on en mesure de contrôler les cendres épandues pour vérifier qu'il s'agit bien de cendres de bois et non de cendres de déchets ménagers, qui contiennent de fortes teneurs en métaux ? Actuellement, même si elle reste floue à ce sujet, la réglementation ne semble pas autoriser les épandages de cendres en forêt. Seules des expérimentations sont conduites sous la surveillance des autorités publiques pour étudier les impacts de tels épandages.

Identifier les zones à risque

L'identification des situations à risque doit être faite à plusieurs échelles. La démarche que nous avons présentée permet d'établir un diagnostic au niveau local. Il était nécessaire d'apporter, sous forme de cartes, un éclairage sur les secteurs plus ou moins sensibles, à une échelle régionale ou nationale. Voici le résultat de deux approches.

A l'échelle nationale, un groupe d'experts et de chercheurs particulièrement impliqués dans la gestion des sols, a réalisé une première carte qu'il présente ici en encadré.

Des recherches conduites par le Lerfob (Laboratoire d'étude des ressources forêt bois, unité mixte de recherche Engref / Inra) avec le concours de l'ONF, permettent d'envisager de cartographier certaines caractéristiques du sol, notamment l'acidité (pH de l'horizon de surface), à partir de relevés de la flore spontanée. La méthode est quasiment validée pour des cartes à petite échelle à partir des données de flore de l'Inventaire Forestier National (IFN). Nous restituons ainsi (figure 5) une carte des classes de pH des sols du quart Nord Est, correspondant aux classes de sensibilité du guide Ademe pour l'exploitation du bois-énergie, établie à partir des données de l'IFN et de la base de données Ecoplant du Lerfob.

Carte de sensibilité des sols de France aux exportations minérales,

par Alain Brêthes (ONF), Jean-Paul Party (Sol-Conseil), Jean-Claude Gégout (Engref), Etienne Dambrine (Inra), Manuel Nicolas (poste d'interface Inra – ONF sur la gestion des sols)

La carte présentée a été réalisée à partir de la typologie de sensibilité des sols du guide de l'Ademe appliquée aux connaissances des sols de France – Carte des sols de France (Inra, 1968), carte géologique de France (BRGM, 1996), carte des classes d'altération des matériaux géologiques et des sols du territoire français (Party, 1999). Elle repose par ailleurs sur l'expérience des auteurs en pédologie et en écologie. Son but est de fournir aux gestionnaires forestiers une indication générale sur la répartition en France des sols peu, moyennement et très sensibles aux exportations minérales. Des indications de sensibilité des sols au tassement sont aussi données dans la légende. Il convient également pour les gestionnaires de tenir compte de la sensibilité des sols à l'érosion, notamment sur pentes fortes.

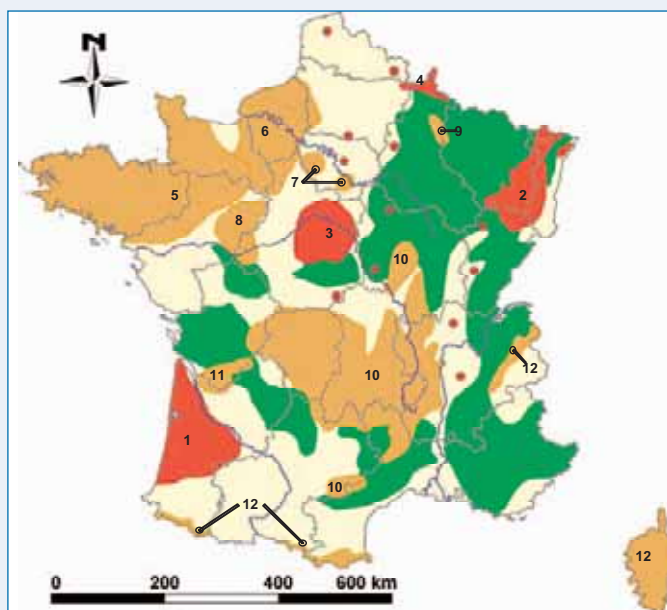
Des limites doivent cependant être observées dans l'utilisation de cette carte. On ne peut pas en déduire la sensibilité des sols d'une parcelle forestière par simple localisation dans une zone renseignée, et ce pour plusieurs raisons. Nous tenons tout d'abord à souligner :

- que cette carte a été réalisée à l'échelle nationale,
- qu'elle n'est pas exhaustive (certaines zones ne sont pas renseignées),
- que les contours des zones renseignées ne sont pas définis précisément.

D'autre part l'état de la science concernant la sensibilité des sols aux exportations minérales admet des incertitudes. Par exemple, il est difficile de déterminer les réserves des sols en phosphore disponible pour les arbres et donc de définir la sensibilité des sols aux exportations de cet élément.

Il reste donc indispensable d'appuyer un diagnostic de sensibilité des sols sur des observations de terrain. Il faut aussi noter à ce propos que les anciennes terres agricoles peuvent présenter une richesse trompeuse, issue de fertilisations passées, et masquant une réelle sensibilité aux exportations minérales due à la pauvreté de la roche-mère.

Cependant cette carte à l'échelle de la France peut aider les gestionnaires comme l'ONF à cibler leurs efforts de développement du bois-énergie dans les grandes zones de sols peu sensibles.



Commentaire de la carte

N°	Désignation	Géologie	Exemples indicatifs	Sensibilité aux exportations minérales	Sensibilité au tassement
FORETS TRÈS SENSIBLES AUX EXPORTATIONS MINÉRALES					
1	Landes	Sables		forte	faible (sauf pour limons aux marges des Landes)
2	Vosges et Forêt de Haguenau	Grès vosgiens		forte	faible
		Autres grès		modérée	modérée
		Granites et gneiss		modérée à forte	faible à modérée
		Alluvions anciennes	Forêt de Haguenau	forte	faible
3	Orléans et Sologne	Formations à cailloux du Pays Fort		forte	faible
		Sables et argiles de Sologne	Forêt d'Orléans	forte	modérée à élevée (sables très fins hydromorphes sur limons)
4	Ardenne primaire	Schistes		forte	modérée à forte (selon la charge en cailloux)
FORETS A SENSIBILITES MELANGÉES					
5	Bretagne et Normandie armoricaine	Grès et granites	Forêts d'Ecoves, Persigne, Ardennes	forte	faible (sables)
		Schistes du Permien		modérée	modérée (limons avec sables ou fragments de schistes) à élevée (limons)
		Autres schistes	Forêt d'Ecoves	forte	modérée (limons avec sables ou fragments de schistes) à élevée (limons)
6	Normandie	Formations à silex et sablonneuses	Forêt de Montfort sur Rielle, forêts sur sables du Perche	forte	faible
		Limons	Forêt d'Eu, d'Evry, de Lyons	modérée	forte
		Alluvions anciennes	Forêt de Bard-Leuvrier	forte	faible (Labe) à modérée (sables limoneux)
7	Rambouillet et Fontainebleau	Sables et sables limoneux		forte	modérée à forte (sables soufflés)
		Limons sableux	Forêt de Rambouillet	forte	forte
		Alluvions anciennes		forte	faible
		Calcaire		faible	faible
8	Maine-Anjou	Sables de la Loire et du Maine	Forêt de Marnac	forte	faible
		Limons		modérée	modérée à forte
9	Argonne	Gaize	Forêt de Grand Pays	modérée à forte	forte
10	Massif Central	Roches volcaniques basiques	Puy, Cantal, Aubrac, Velay, Forêt de la Comté	faible	faible à modérée
		Roches volcaniques acides (bf, rhyolites, granites, gneiss)	Monts, Monts du Forez, Lurdaois, Plât, Haut Vivarais, Cévennes, Margeride, Millevache, Monts du Lyonnais, Monts du Beaujolais, Montagne Noire	modérée à forte	faible à modérée
		Schistes	Forêt des Avant-Monts	faible à modérée	modérée à forte (selon la charge en cailloux)
		Plaines	Limagne, vallée de la Loire (Forez)	modérée	forte
11	Formations tertiaires du Périgord et de la Châtagneraie limousine	Sables sur argiles sableuses	Plateaux du Périgord Blanc	modérée à forte	modérée à élevée (sables hydromorphes sur argiles)
		Argiles sableuses en bord de plateaux	Bords des plateaux du Périgord Blanc	modérée	modérée
		Granites et schistes	Périgord vert, Châtagneraie limousine	forte	modérée (sables limoneux)
12	Alpes, Pyrénées et Côte	Granites, gneiss et micaschistes	Belledune, Grand Arc, Massif de Chamoni, Ostaï, Gavarny, Camgou, etc.	modérée	faible mais érosion forte
		Autres formations		faible	faible mais érosion forte
ZONES LIMONEUSES					
	Hautes plaines des Flandres, Thiérache, Vain, Vieille France, Gise, Montagne de Reims, Gâtinais et Champagne humide, Nivernais, Borschaot, Vège, Sundgau, Forêt de Chaux, Bresse et Combe, Bas Dauphinois - Chambaran, Collines du Gers (Boublines)			faible à modérée	forte
FORETS PEU SENSIBLES SUR ROCHE CALCAIRE					
	Plateaux calcaires du quart Nord-Est, Plaine d'Alsace et collines sous-vosgiennes, Jura, Alpes orientales, Alpes du Sud, grands causses, plateaux calcaires et collines du Sud-Ouest			faible	faible
ZONES NON RENSEIGNÉES					

L'interprétation de ces cartes est bien sûr à faire en fonction de leur échelle. Elles donnent une indication sur la fréquence des situations à risque.

On observe qu'une proportion importante des forêts est située sur des sols fortement ou moyennement sensibles, au sens du guide Ademe.

Une part également importante des forêts est située sur des sols calcaires, peu sensibles à la fois aux exportations minérales et au tassement. C'est en priorité dans cette situation, assez largement répartie sur le territoire, qu'une intensification de l'exploitation devrait pouvoir être envisagée.

Adapter l'exploitation

Sur la base des recommandations du guide Ademe, les dispositions générales prises par l'Office amènent à adapter l'exploitation en limitant le nombre de récoltes rémanents ou d'arbres entiers dans la vie du peuplement et en respectant un laps de temps minimum entre deux récoltes d'arbres de taillis avec leurs branches. Le tableau 1 synthétise ces mesures suivant la sensibilité du sol et le type de peuplement.

L'application de ces préconisations est maintenant à réfléchir. La limite du nombre de récoltes de rémanents ou d'arbres entiers dans la vie du peuplement nécessite notamment une bonne mémoire de la gestion. Les suggestions qui suivent à ce sujet n'engagent à ce stade que leurs auteurs et devront être précisées.

Il semble avant tout primordial de conserver une trace de ces exploitations complètes dans le sommier de la forêt. Ensuite il conviendrait de cadrer cette intensification des récoltes en adoptant un mode et une fréquence d'exploitation par type de peuplement.

En futaie régulière, il serait préférable de fixer ces prélèvements exceptionnels à un stade de la vie du peuplement où ils présentent des avantages particuliers, *a priori* soit à un stade jeune soit au moment de la récolte finale :

- une première éclaircie, ou même un dépressage ou une ouverture de cloisonnement, peut être amortie en valorisant de petits arbres entiers ;

- au moment de la récolte du peuplement, l'exploitation des rémanents peut être intéressante pour diminuer les gênes à l'installation du nouveau peuplement.

En futaie irrégulière ou jardinée, on pourrait considérer que le peuplement se renouvelle complètement en 100 ans environ. « Récolter les rémanents (ou des arbres entiers) une fois dans la vie du peuplement » reviendrait donc à une

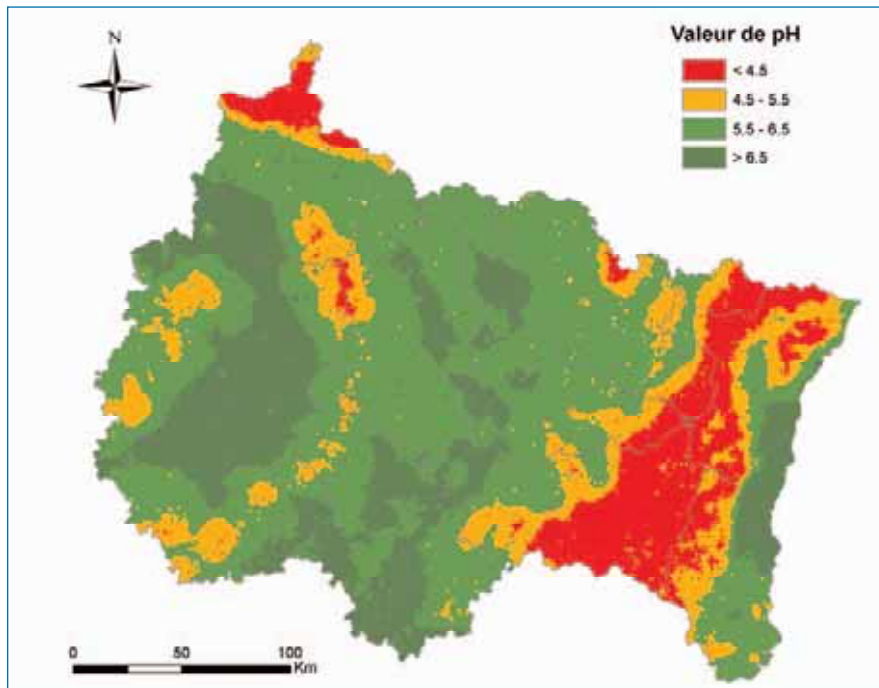


Fig. 5 : carte de sensibilité des sols forestiers du nord-est de la France aux exportations minérales, basée sur les pH de surface bioindiqués par la flore (ENGREF-IFN, non publiée*)

* Carte publiée ici avec l'aimable autorisation de l'IFN

		Peuplement	recommandations de l'ONF (sur la base des recommandations du guide de l'ADEME, sans recours à l'ides fertilisations compensatoires)
Sols peu sensibles	Résineux		Récolte des rémanents ou d'arbres entiers 2 fois au maximum dans la vie du peuplement
	Feuillus	Taillis et TSF	Laisser au moins 15-20 ans entre 2 récolte des arbres + rémanents (ou d'arbres entiers)
		Futaie	Récolte des rémanents ou d'arbres entiers 2 fois au maximum dans la vie du peuplement
Sols moyennement sensibles	Epicéa commun		Récolte des rémanents ou d'arbres entiers 2 fois au maximum dans la vie du peuplement
	Autres résineux		Récolte des rémanents ou d'arbres entiers 1 fois au maximum dans la vie du peuplement
	Feuillus	Taillis et TSF	Laisser au moins 30 ans entre 2 récolte des arbres + rémanents (ou d'arbres entiers)
		Futaie et TSF en conversion en futaie	Récolte des rémanents ou d'arbres entiers 1 fois au maximum dans la vie du peuplement
Sols très sensibles	Tous		Aucune récolte des rémanents ou d'arbres entiers

Tab. 1 : synthèse des recommandations de l'ONF par classe de sensibilité de sol et par type de peuplement sur la base des recommandations du guide de l'Ademe sans recours à des fertilisations compensatoires

récolte tous les 100 ans, deux récoltes « dans la vie du peuplement » reviendraient à une récolte tous les 50 ans. Pour cela, on pourrait prévoir une rotation, d'un aménagement à l'autre, des

parcelles disponibles pour ce type d'exploitation.

On simplifierait ainsi la mise en œuvre des recommandations en adoptant toujours les mêmes

règles, selon les modes de traitement, réguliers ou irréguliers.

Dans tous les cas, on veillera dans toute la mesure du possible :

- à ne pas exporter les très fines branches et surtout le feuillage hors de la parcelle,
- à ne pas dégrader physiquement les sols sensibles au tassement ou à l'érosion.

Soit les récoltes de rémanents ou d'arbres entiers peuvent être réalisées hors feuille (pour les essences à feuillage caduque), soit on laissera sécher plusieurs mois les produits sur le parterre de la coupe. La qualité des plaquettes produites est d'ailleurs meilleure avec des branchages secs, sans feuilles. Certains engins de récolte et de fagotage de rémanents nécessitent qu'ils soient frais au moment de l'exploitation pour que les fagots produits se tiennent. On évitera donc dans la mesure du possible, et impérativement sur les sols sensibles, le recours à ce type de matériel.

Sur les sols sensibles au tassement, deux pistes doivent être envisagées : utiliser en priorité les rémanents pour protéger les cloisonnements ou avoir recours à des modes de débardages à faible impact sur les sols, tels que les câbles aériens ou le cheval de fer (voir le dossier sur les tassements de sol, Rendez-Vous Techniques n° 8, printemps 2005).

Manuel NICOLAS

Interface INRA – ONF

INRA – Centre de Nancy

Unité Biogéochimie des Ecosystèmes

Forestiers

manuel.nicolas@onf.fr

Co-auteurs de l'introduction et des deux premières parties :

François CHARNET

IDF - Orléans

francois.charnet@cnppf.fr

Jacques RANGER

INRA – Centre de Nancy
Unité Biogéochimie des Ecosystèmes
Forestiers
ranger@nancy.inra.fr

Caroline RANTIEN

ADEME - département bioressources
Angers
caroline.rantien@ademe.fr

Co-auteurs de la 3^e partie
« la production raisonnée de bois-
énergie par l'ONF »

Alain BRETHERS

ONF – DT Centre-Ouest
Service d'appui technique
alain.brethes@onf.fr

Patrice MENGIN-LECREULX

ONF – Direction Technique
Chef du Département Recherche
patrice.mengin@onf.fr

Thierry SARDIN

ONF – Direction Technique
Département Forêts
thierry.sardin@onf.fr

Bibliographie

BRGM, 1996. La carte géologique de France au 1/ 1 000 000. 6^e édition

BRUSTEL H., 2004. Coléoptères saproxyliques et valeur biologique des forêts françaises : perspectives pour la conservation du patrimoine naturel. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Coll. Les dossiers forestiers, n° 13. Paris : ONF. 327 p.

CACOT E. (coord.), CHARNET F., RANGER J., VIEBAN S., EISNER N., 2003. Etude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt : rapport final. Les Vaseix : AFOCEL. 72 p.+ annexes

CACOT E. (coord.), EISNER N., CHARNET F., LEON P., RANTIEN C., RANGER J., 2006. La récolte raisonnée des rémanents en forêt. Angers : ADEME. 36 p.

< en ligne :
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=33691&ref=12441> ou
http://www.afocel.fr/approvisionnement_bois_energie_guide_remanents.htm>

CHARNET F., 2007. L'impact de la récolte des rémanents sur l'environnement. Forêt Entreprise, n° 172, pp. 33-36

CROISE L., ULRICH E., DUPLAT P., JAQUET O., 2005. Le suivi des dépôts atmosphériques dans les écosystèmes forestiers en France. Rendez-vous techniques, n° 7, pp. 4-10

GOSSELIN M., LAROUSSINIE O., 2004. Biodiversité et gestion forestière : connaître pour préserver. Synthèse bibliographique. Collection Etudes du Cemagref, série Gestion des Territoires, n° 20. Antony : Cemagref éditions. 320 p.

INRA, 1968. Carte pédologique de la France. 1^{ère} édition

JABIOL B., RANGER J., RICHTER C., 2000. Sol sensible ou résistant ? Éléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique. La Forêt privée, n° 253, pp. 30-46

MARQUES R., 1996. Dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation de Douglas (Pseudotsuga menziesii Mirb. Franco) dans les Monts du Beaujolais (France). Thèse ENGREF. Champenoux : Institut National de la Recherche Agronomique. 240 p. + annexes

ONF Bourgogne, cellule d'expertises naturalistes, 2003. L'arbre autrement, programme Life nature « forêts et habitats associés de la Bourgogne calcaire ».

ONF, 2005. Dossier : Tassements du sol dus à l'exploitation forestière. Rendez-vous techniques, n°8, pp. 23-51

PARTY J.P., 1999. Acidification des sols et des eaux de surface des écosystèmes forestiers Français : facteurs, mécanismes et tendances. Taux d'altération sur petits bassins-versants silicatés. Application au calcul des charges critiques d'acidité. Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg. 247 p + annexes

RANGER J., 1998. Évolution de la fertilité des sols forestiers sous les plantations de Douglas. Forêt Entreprise, n° 120, pp. 39-43

RANGER J., ALLIE S., GELHAYE D., POLLIER B., TURPAULT M.P., GRANIER A., 2002. Nutrient budgets for a rotation of a Douglas-fir plantation in the Beaujolais (France) based on a chronosequence study. Forest Ecology and Management, vol. 171, pp. 3-16