

Mots clés

- Bois énergie
- Conseils de récolte
- Impact environnemental
- Rémanents

## Impact du prélèvement des rémanents en forêt

Les objectifs du programme bois énergie 2000/2006 de l'ADEME visent, à l'horizon 2006, à mobiliser l'utilisation supplémentaire de 3 millions de m<sup>3</sup> de bois par an. L'augmentation de l'utilisation de ressource forestière (dont la récolte des rémanents) est inévitable en raison de la stagnation constatée des gisements de déchets de bois produits au sein de l'industrie.

Dans un premier temps, l'ADEME a souhaité établir un état des connaissances sur l'impact de la récolte des rémanents forestiers, afin de s'assurer que ce prélèvement ne nuit pas aux sols et à leurs caractéristiques. Cette étude bibliographique a été confiée à l'AFOCEL, et réalisée en collaboration avec l'IDF, FORESTARN et l'INRA.

La rareté relative des études européennes sur l'analyse de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt (sauf en pays scandinaves) oblige à s'intéresser à l'expertise nord-américaine et canadienne. Il convient donc de rester prudent sur le degré de généralisation, eu égard aux différences d'environnements pédo-climatiques, de pratiques sylvicoles et d'essences forestières.



Les études trouvées lors de la recherche bibliographique mettent beaucoup plus l'accent sur les impacts potentiellement négatifs de cette récolte : exportation minérale accrue, baisse éventuelle



*Quel est l'impact de la récolte des rémanents sur l'écosystème forestier ?*

de croissance, modification des propriétés physiques du sol, de la flore et la pédofaune. Il ne faut pas pour autant oublier les avantages qu'offre la biomasse ligneuse : une ressource énergétique renouvelable (dans la mesure où la forêt est gérée de manière durable), neutre pour la balance en carbone de l'écosystème global et produite localement.

De plus, il existe de nombreux conseils pour, soit réduire l'exportation minérale liée à la récolte des houppiers par une adaptation des techniques de récolte, soit la compenser par une fertilisation.

Les impacts potentiels ainsi que les conseils de récolte, issus de l'état de l'art, sont synthétisés dans cette Fiche Informations-Forêt.

## Impact du prélèvement des rémanents sur les propriétés chimiques des sols

### ■ La récolte des rémanents s'accompagne d'une exportation minérale accrue

Quelle que soit l'essence, toutes les études sur la biomasse et la teneur en éléments minéraux des végétaux montrent que les petits compartiments de la biomasse (branches, brindilles, feuillage), ainsi que les jeunes arbres et l'écorce, sont plus riches en éléments nutritifs. **La récolte des houppiers conduit donc à des exportations plus fortes par rapport à l'exploitation des troncs seuls**, allant jusqu'à trois fois plus de perte lors d'une exploitation par arbres entiers.

**Tableau 1 : Une récolte par arbres entiers entraîne une exportation minérale bien plus forte que pour une exploitation du tronc seul. Exemple pour une plantation d'épicéa commun de 45 ans, dans les Ardennes, données en kg/ha (source INRA)**

|  | Biomasse<br>N | Éléments minéraux exportés |      |      |       |      |
|--|---------------|----------------------------|------|------|-------|------|
|  |               | P                          | K    | Ca   | M     |      |
| Exploitation du tronc seul                       | 125 980       | 135,2                      | 4,4  | 69,3 | 146,2 | 19,8 |
| Récolte par arbre entier (sans souche ni racine) | 180 168       | 498,2                      | 36,4 | 201  | 307   | 43,3 |

Cette exportation minérale accrue peut avoir des conséquences sur le maintien de la fertilité des sols et de leur potentiel de production, en particulier sur sol pauvre. Il existe cependant des modes opératoires pour limiter ces exportations, que nous décrivons plus loin.

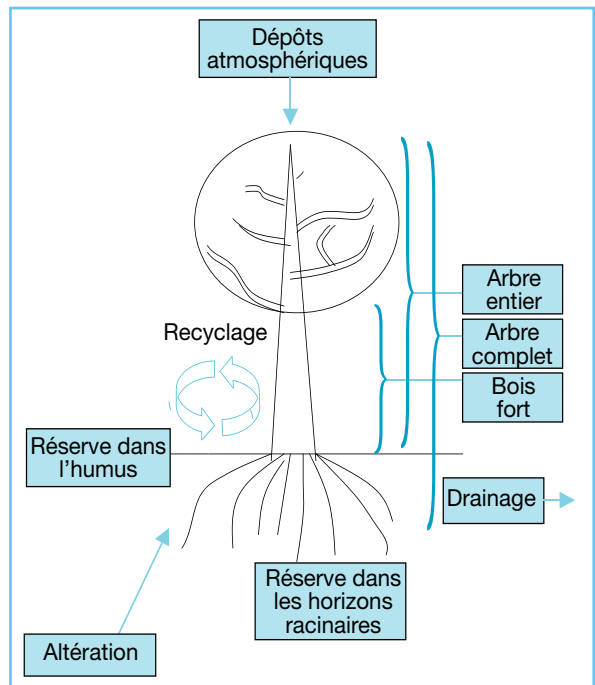
### ■ Est-ce que les sols forestiers peuvent supporter cette intensification de récolte ?

Répondre à cette question nécessite des études assez lourdes sur la quantité des exportations minérales du fait des exploitations, l'état des réserves du sol, les quantités de minéraux disponibles en circulation, la vitesse de renouvellement des minéraux exportés...

C'est plus précisément l'analyse du cycle biogéochimique qui permettra de répondre à la question posée ci-dessus. Le cycle biogéochimique est la circulation permanente des éléments minéraux entre les compartiments de l'écosystème, les

végétaux et les horizons prospectés par la végétation totale (incluant les différentes strates), les couches humifères localisées à la surface du sol et à nouveau le sol minéral.

**Graphique 1 : Déterminer les conséquences de différentes intensités d'exploitation nécessite de connaître de nombreux éléments du cycle biogéochimique pour un écosystème donné**

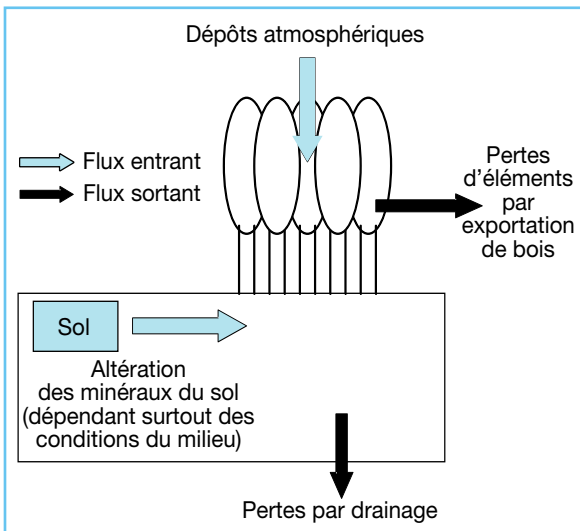


Détaillons les principaux flux :

- **Les dépôts atmosphériques** se présentent sous forme de dépôts secs (aérosols, gaz), humides (pluie, neige) ou occultes (brouillard, précipitation orographique) où les éléments sont dissous. Certains apports, comme l'azote, ont augmenté avec la pollution.
- **L'altération**, c'est-à-dire le flux d'éléments libérés lors de la dissolution des minéraux du sol, est difficilement quantifiable.
- **Les pertes par drainage** (mais également par érosion) sont accrues après exploitation du fait d'une plus forte minéralisation de l'humus, provoquée par le changement de microclimat et des perturbations engendrées par l'exploitation, particulièrement lors des coupes à blanc.
- **Toute exploitation forestière** se traduit par une exportation d'éléments minéraux en dehors de l'écosystème forestier, d'importance variable selon l'intensité d'exploitation : récolte bois fort conventionnelle < récolte par arbre entier < récolte par arbre complet avec la souche. **D'autres pratiques sylvicoles courantes (andainage, brûlage des rémanents...) peuvent également conduire à une exportation des éléments minéraux.**

## ■ Le bilan minéral est-il équilibré ?

**Graphique 2 : Les flux de fertilité dans les écosystèmes forestiers**



A partir de l'analyse des flux entrants et sortants du cycle biogéochimique, le bilan minéral, également appelé bilan de fertilité ou bilan entrées-sorties, peut être établi. Il se résume comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Bilan minéral} &= \text{Flux entrants} - \text{Flux sortants} \\ &= (\text{dépôts atmosphériques} + \text{altération}) - (\text{récolte de biomasse} + \text{drainage}) \end{aligned}$$

Ce bilan est établi sur la durée d'un cycle sylvicole. Il permet de vérifier si la pérennité de la production peut raisonnablement être espérée. Il doit être nul pour chaque élément dans le cas d'une stabilité du système.

**Dans le cas de déséquilibre marqué, avec des flux sortants supérieurs à ceux entrants, la différence doit être apportée par fertilisation, sinon l'équilibre se rétablira aux dépens de la production.** Dans le cas de déséquilibre léger, la productivité lors de la rotation suivante ne sera probablement pas affectée ; mais la conséquence du prélèvement des rémanents se fera certainement sentir à plus long terme.

## ■ Les conséquences de la récolte des rémanents sont différentes selon les éléments minéraux

Les bilans minéraux sont étudiés la plupart du temps pour les cinq éléments nutritifs principaux : l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium. Les micronutriments, comme le bore, sont également susceptibles d'être en déficit mais sont peu étudiés.

Les bilans entrées-sorties indiquent en général que le **calcium** est l'élément le plus susceptible d'être en déficit lors d'une intensification de la récolte. Le phosphore et l'**azote** sont également souvent déficitaires. D'autres éléments encore peuvent être concernés dans quelques cas plus rares.

Les conséquences ne seront évidemment pas les mêmes selon les éléments déficitaires : carence nutritive des plantes et des micro-organismes, détérioration des humus, perturbation du cycle biogéochimique.

## ■ D'autres conséquences sur les propriétés chimiques des sols sont observées

L'exploitation forestière, particulièrement pour les coupes à blanc, s'accompagne souvent d'une perte d'éléments minéraux par drainage, appelée flush. Ce drainage exceptionnel dure environ 3 ans après coupe. Un des moyens avancés pour réduire le lessivage de l'azote et la perte de minéraux est l'exploitation des rémanents pour le bois énergie. En fait, **les effets de la coupe rase et de l'enlèvement des rémanents sur les pertes par lessivage ne sont pas les mêmes selon les peuplements et les sols étudiés, et n'apparaissent pas être en relation avec la quantité de rémanents laissés sur le site après exploitation.** D'autres phénomènes sont en jeu (contrôle de la végétation sur la nitrification) et expliqueraient ces différences de résultats, indépendamment de la récolte des rémanents.

**L'exploitation par arbres entiers peut provoquer l'acidification des sols.** La raison principale est que les cations alcalins ou "basiques" ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) contenus en grande partie dans les branches et feuillage sont effectivement enlevés. Cette acidification a des conséquences négatives sur le dépérissement des forêts, l'acidification des cours d'eau, la perturbation de la faune et la flore.

En ce qui concerne le carbone, le principal effet sur la teneur en carbone du sol provient de l'exploitation bois fort conventionnelle. L'intensification de la récolte (avec le ramassage des branches et aiguilles) à des fins énergétiques a un impact additionnel relativement faible. **D'un point de vue de la balance en carbone de l'écosystème global, l'enlèvement des rémanents à des fins énergétiques est préférable à un abandon sur la coupe.** Si les rémanents sont utilisés en bois énergie, ils évitent un dégagement de  $\text{CO}_2$  provenant d'une énergie fossile. Laissés sur coupe, les rémanents se décomposent presque complètement en  $\text{CO}_2$ , sans économiser une énergie fossile.



## Conseils pour réduire les impacts du prélèvement des rémanents en forêt

Certains conseils cités dans la bibliographie devront être validés pour les écosystèmes français. Mais d'ores et déjà, quelques mesures de bon sens peuvent être avancées pour limiter les impacts sur les propriétés chimiques des sols.

### ■ Raisonner la récolte des rémanents en fonction des capacités des milieux

En France, trois types de stations forestières peuvent être distingués, en fonction des propriétés du sol et de leur capacité à supporter une intensification de la récolte. Les scénarios sylvicoles applicables pour ces classes sont :

- **Sur sol peu sensible**, une sylviculture relativement intensive ne devrait pas mettre en péril la fertilité chimique de ce type de station.
- **Sur sol moyennement sensible**, toute culture est possible mais seule l'exploitation de grumes à révolution longue est envisageable sans restitution par fertilisation ; toute exploitation totale ou à révolution plus courte doit donner lieu à restitution, fonction de l'espèce et du type d'exploitation.
- **Sur sol très sensible**, quelles que soient l'intensité d'exploitation et la longueur de la révolution, la restitution d'une quantité égale à la quantité exportée doit être prévue.

Actuellement, savoir à quelle classe appartient une station nécessite une analyse détaillée et coûteuse des paramètres physico-chimiques du sol. Des travaux complémentaires devront être menés pour affiner les seuils entre catégories et les caractéristiques de ces dernières, afin d'aboutir à un outil pratique utilisable par tous.

### ■ Réduire les exportations minérales

Différentes techniques de récolte des rémanents existent afin de limiter les exportations minérales :

- **Laisser sécher les rémanents quelques mois avant leur récolte.** Les parties les plus riches en éléments nutritifs (feuillage et brindilles) restent au sol. Les résultats de cette méthode sont très variables (réduction des exportations minérales de 3 à 45 % selon les éléments).
- **Récolter les rémanents de feuillus en hiver.** Les éléments nutritifs contenus dans les feuilles retournent au sol via la litière. Mais des transferts

d'éléments nutritifs des feuilles vers les branches avant la chute des feuilles limitent l'efficacité de cette méthode.

- **Ne pas récolter les arbustes et la végétation adventice.** Cette végétation limite d'une part le drainage exceptionnel des éléments minéraux après coupe et, d'autre part, sert de réserve pour les besoins du peuplement d'avenir suivant.
- **Limiter le nombre de récoltes des rémanents au cours de la vie du peuplement.** Il est préférable de ne récolter les rémanents qu'une fois dans la vie du peuplement.

Les deux premières techniques présentées offrent un autre avantage : elles réduisent sensiblement la quantité de petites plaquettes qui ne conviennent pas à tous les types de chaudières et dont le taux de cendre est élevé.

### ■ Apporter une fertilisation compensatoire

Une utilisation de la tige entière à des fins énergétiques est possible dans tous les cas, mais il faut alors adapter les restitutions aux exportations. Les bilans minéraux ayant mis en évidence un appauvrissement en calcium, azote et phosphore, ce sont principalement ces éléments qu'il faudra apporter par fertilisation. Les quantités devront prendre en compte la biodisponibilité des éléments apportés.



*L'épandage des cendres des chaudières est un moyen présenté pour compenser les exportations minérales.*

C'est donc bien un calcul économique qu'il faut faire avant tout : est-ce que les revenus forestiers permettront une restitution des exportations minérales par fertilisation ? En l'état actuel des pratiques sylvicoles, la fertilisation est très rare en forêt. Le bilan économique ne la permet pas souvent. De ce fait, en l'absence de fertilisation, il faut déconseiller la récolte des rémanents sur sol pauvre.

## Autres conséquences de la récolte des rémanents

### ■ La récolte des rémanents réduit le risque incendie

Ce phénomène s'explique tout simplement par la réduction de combustible potentiel au sol. Cependant, le nettoyage de la parcelle (broyage du sous-étage) a plus d'influence sur la diminution du risque incendie que l'enlèvement des rémanents.

### ■ Dans certains cas, une baisse de croissance est observée mais peut être compensée

Sur les sols très et moyennement sensibles, évoqués précédemment, **la récolte des rémanents a un effet dépressif sur la croissance des essences objectifs, si rien n'est entrepris pour compenser les exportations minérales** (fertilisation). A noter que pour constater un effet de la récolte des rémanents sur la croissance, il faut considérer au moins les cinq années qui suivent la coupe.

**C'est lorsque les besoins minéraux du peuplement sont les plus forts (à l'âge de la première éclaircie pour les résineux), que l'effet dépressif de l'enlèvement des rémanents sur la croissance est maximal.** L'apport de fertilisants à cette période permet d'y remédier.

Les causes de cette réduction de croissance sont difficiles à isoler. L'influence séparée sur la croissance après coupe, de la perturbation des sites, de la compétition engendrée par le développement de la végétation herbacée, ou l'influence des rémanents sur le microclimat et la libération de minéraux par leur décomposition restent inconnues. Aussi, l'amplitude de la réduction de croissance ne peut pas être simplement déduite des analyses du cycle biogéochimique (bilan entrées-sorties).

### ■ Les propriétés physiques du sol sont modifiées de façon indirecte

Les rémanents jouent un rôle d'isolant thermique. Ils ont un effet amortisseur vis-à-vis de l'amplitude thermique du sol : la température moyenne reste la même, mais les écarts entre températures minimale et maximale augmentent lorsque les rémanents sont enlevés. Le vent au sol est réduit par les rémanents.

**L'enlèvement des rémanents va donc changer le microclimat au niveau du sol.** Ce changement

va à son tour modifier les propriétés physiques du sol : les premiers horizons s'assèchent et font perdre au sol une partie de sa réserve utile.

De plus, l'abandon des rémanents sur le sol a généralement un effet protecteur à l'égard de la compaction des sols, qui a été constaté sous les climats et les peuplements les plus variés, avec une netteté et une intensité toutefois variables.

### ■ La flore et la régénération sont influencées par ces modifications

Ces modifications des propriétés physiques du sol et du microclimat engendrent à leur tour d'autres perturbations. Ainsi, **la récolte répétée et systématique des rémanents (mode de récolte qui de fait n'est jamais réalisé) réduit le taux de racines ectomycorhizées** dans les horizons de surface, sans modifier sensiblement le spectre des espèces symbiotes.

En ce qui concerne les végétaux supérieurs, les résidus préviennent l'invasion de la coupe par des espèces peu fréquentes, souvent non forestières. **D'un point de vue sylvicole, on retiendra donc que la coupe avec enlèvement total des rémanents peut, dans certaines conditions, aggraver la concurrence herbacée et nécessiter des traitements adaptés.**

Les modifications du microclimat peuvent entraîner des températures mortelles pour la régénération. Ceci confirmerait la **fonction d'abri assurée par les rémanents à l'égard des semis**. Leur récolte favoriserait les essences pionnières. De plus, **les rémanents ont un effet protecteur des semis à l'égard du gibier** qui paraît évident mais qui est en fait peu documenté.

### ■ La faune du sol est affectée

Deux phénomènes sont à la base d'un appauvrissement de la pédofaune :

- la modification du microclimat (températures et dessiccation),
- la soustraction de la matière organique provenant des rémanents, moteur de nombreux processus biogéochimiques dans le sol.

De nombreux groupes d'animaux du sol, comme les collemboles, araignées, larves de diptères sont affectés sur le long terme. D'autres, comme les enchytréides, les diplopodes ou la nématofaune, régressent dans un premier temps mais reviennent à un niveau initial après quelques années.

## Un besoin évident d'études complémentaires

Il convient de relativiser les impacts de la récolte des rémanents, détaillés précédemment. En effet, les opérations d'exploitation forestière actuelles n'ont jamais laissé autant de bois sur le parterre des coupes. Même avec une récolte des rémanents, l'intensité de l'exploitation restera plus faible que celle engendrée par les anciennes pratiques culturales (récolte intensive pour le bois de chauffage, récolte de la litière, pâturage en forêt).

Cependant, **il subsiste quelques inconnues** comme la conséquence du prélèvement des rémanents sur les effets à long terme sur la fertilité des sols, les impacts sur la flore, la faune et les processus biologiques du sol. Quelles seront en effet les conséquences de l'évolution de la pédofaune sur les processus biologiques dans le sol et les interactions avec les prélèvements racinaires ?

Face à ces incertitudes, le besoin d'études complémentaires est patent, d'autant plus que les références françaises sur le sujet sont relativement peu nombreuses. **Les projets à mener sont :**

- Affiner les catégories de stations forestières pour définir celles sur lesquelles la récolte des rémanents est possible sans préjudice à l'environnement.
- Tester la validité des différents conseils préconisés dans la bibliographie.
- Déterminer des tarifs de minéralomasse et valider ceux existants pour les essences principales existantes en France.
- Comparer différents modes et taux de récolte des rémanents, en quantifiant pour chacun les exportations minérales, avec un suivi à long terme des conséquences.
- Accroître le nombre de références sur l'analyse des cycles biogéochimiques en choisissant au mieux les sites et les essences les plus représentatifs des écosystèmes forestiers français.
- Etudier les modalités pratiques de l'épandage des cendres de chaudière en forêt et analyser ses conséquences sur l'écosystème.

**Ces études fourniront les éléments pour rédiger un guide pratique, regroupant les conseils pour une récolte raisonnée des rémanents**, afin d'inscrire le ramassage des rémanents à des fins énergétiques dans le cadre d'une gestion durable des ressources forestières.

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie).

### Pour en savoir plus

CACOT E., CHARNET F., RANGER J., VIEBAN S., EISNER N. (2003)

Etude de l'impact du prélèvement des rémanents. Rapport final. Convention ADEME/AFOCEL n° 02 01 036. 72 p + annexes.

NGUYEN THE N., DELEUZE C. (2002)

Besoins et exportations minérales des TCR d'eucalyptus. Informations-Forêt, n° 646.

BERTHELOT A., RANGER J. (1998)

Besoins et exportations minérales des TCR de peuplier. Informations-Forêt, n° 577.

BONNEAU M. (1995)

Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Théorie, bases du diagnostic, conseils pratiques, réalisations expérimentales. ENGREF (ed.). 367 p.

Emmanuel CACOT

AFOCEL - Station Centre-Ouest

Les Vaseix

87430 Verneuil-sur-Vienne

Tél. : 05.55.48.48.10/Fax : 05.55.48.48.19

E-mail : centreouest@afocel.fr

François CHARNET

IDF – Antenne de Rennes

Imm. le Zéphir

8, rue du 7<sup>ème</sup> Régiment d'Artillerie

35000 Rennes

Tél. : 02.99.65.39.65/Fax : 02.99.65.39.60

E-mail : fcharnet@association-idf.com

Jacques RANGER

INRA – Centre de Nancy

Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers

54280 Champenoux

Tél. : 03.83.39.40.68/Fax : 03.83.39.40.69

E-mail : ranger@nancy.inra.fr

Stéphane VIEBAN

FORESTARN - Maison de la Forêt

3, rue des Casernes

81200 MAZAMET

Tél. : 05.63.97.73.13 / Fax : 05.63.97.73.10

E-mail : svieban@forestarn.com

