

D'un point de vue environnemental, l'utilisation des résidus de coupe dans le cadre de la production d'énergie est séduisante. Notamment parce que cette combustion entraîne des émissions de dioxyde de soufre négligeables et un impact global sur les émissions de gaz à effet de serre nettement inférieur à celui causé par l'utilisation des réserves fossiles.

Cependant, il y a peut-être lieu de modérer cet enthousiasme en considérant un autre effet, négatif cette fois, que pourrait engendrer une exportation massive de matière organique : il s'agit d'une perte significative de nutriments au niveau des écosystèmes et des risques d'appauvrissement qui en résulteraient. Nous allons aborder ce dernier point ici.

Les nutriments circulent dans l'écosystème au travers de cycles biogéochimiques (figure 1). Dans une première approche, on peut considérer l'écosystème comme une boîte noire où l'on distingue d'un côté les entrées, de l'autre, les pertes.

Les entrées sont les pluies, les pluviollessivats (eaux résultant du lessivage des parties aériennes des végétaux par les pluies) et les dépôts secs ainsi que les entrées par l'altération des roches. Dans des systèmes gérés nous devons aussi tenir compte d'éventuelles entrées d'origines anthropiques, sous forme de fertilisants, par exemple.

Par ailleurs, nous avons les pertes ou les sorties de l'écosystème. Elles peuvent se présenter sous forme gazeuse (CO_2 , N_2O , N_2) ou sous forme aqueuse comme des pertes de matière organique et d'éléments minéraux en solution. Il y a également les pertes par action humaine comme les récoltes.

Considérant ensuite l'écosystème en détail (le cycle interne), on remarque que la croissance des végétaux dépend notamment de l'absorption d'éléments minéraux du sol. Ceux-ci proviennent principalement de la décomposition de la matière organique morte (chute de litière). Dès lors, lorsque nous exportons les troncs et les

Retranscription de l'intervention orale du 27 juillet 2003.

LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DE LA RÉCOLTE DU BOIS ÉNERGIE

La récolte des résidus de coupe face au développement durable de la forêt

PROFESSEUR MONIQUE CARNOL

Écologie végétale et microbienne,
Département des sciences et gestion de l'environnement, Université de Liège

FIGURE 1 – CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES AU SEIN D'UN ÉCOSYSTÈME FORESTIER

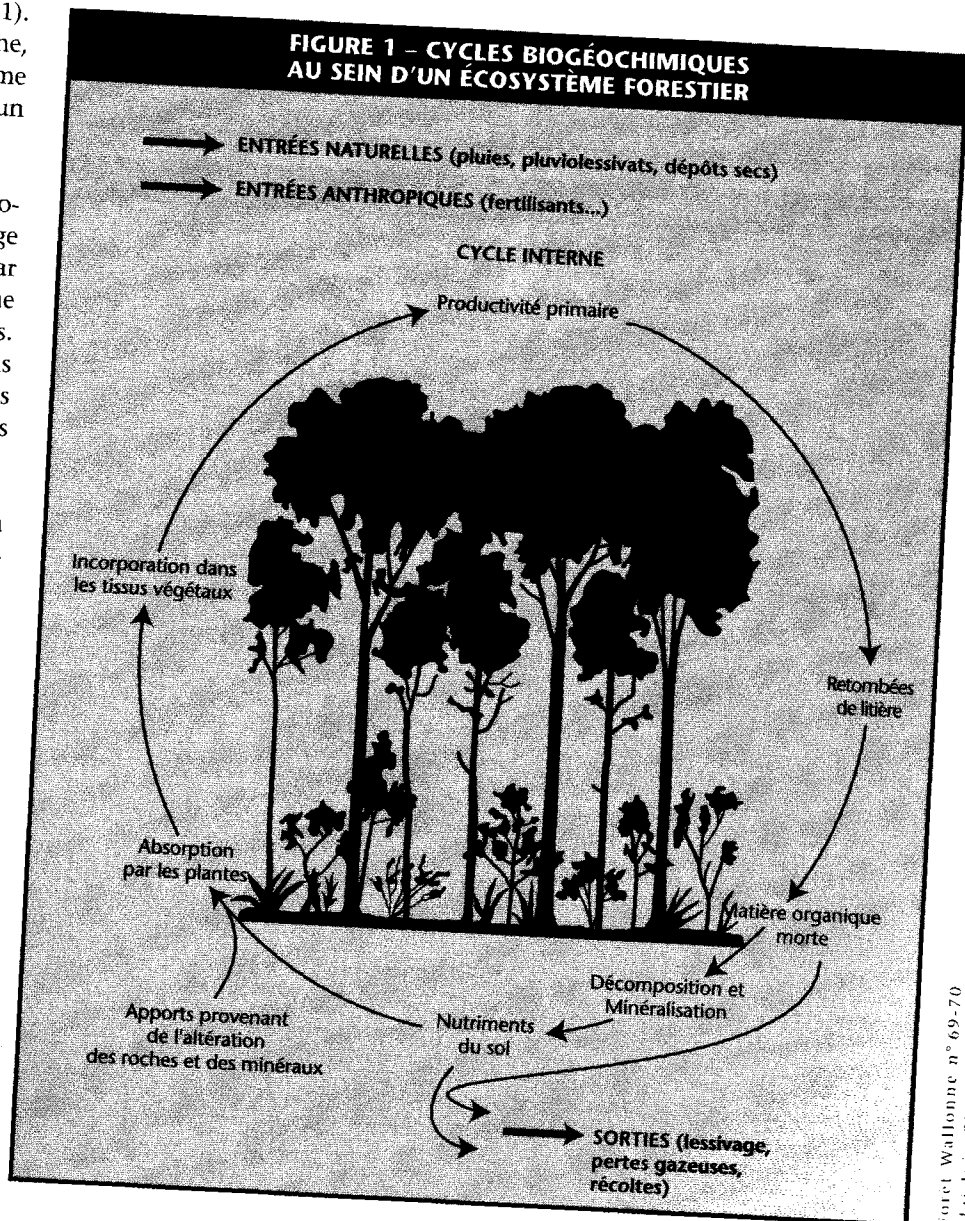
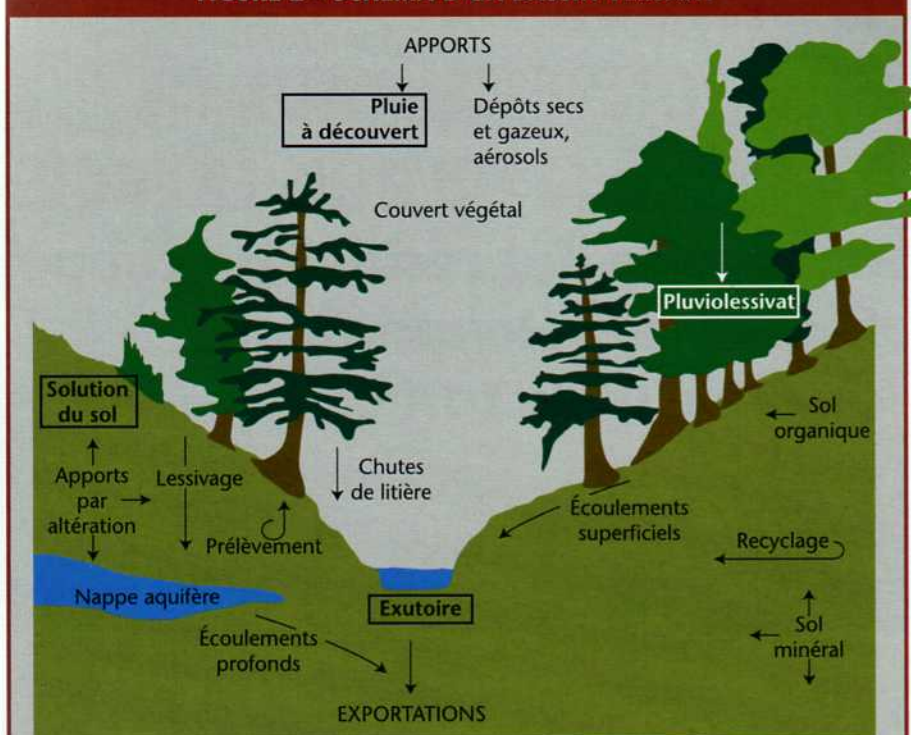


FIGURE 2 – SCHÉMA D'UN BASSIN VERSANT



Bassin versant :

- bassin de drainage de surface définie
- un seul point de sortie : l'exutoire

L'intégration des processus et les bilans entrées-sorties permet d'évaluer :

- l'évolution de l'écosystème
- la validation de modèles
- les impacts de la gestion forestière
- le calcul des charges critiques

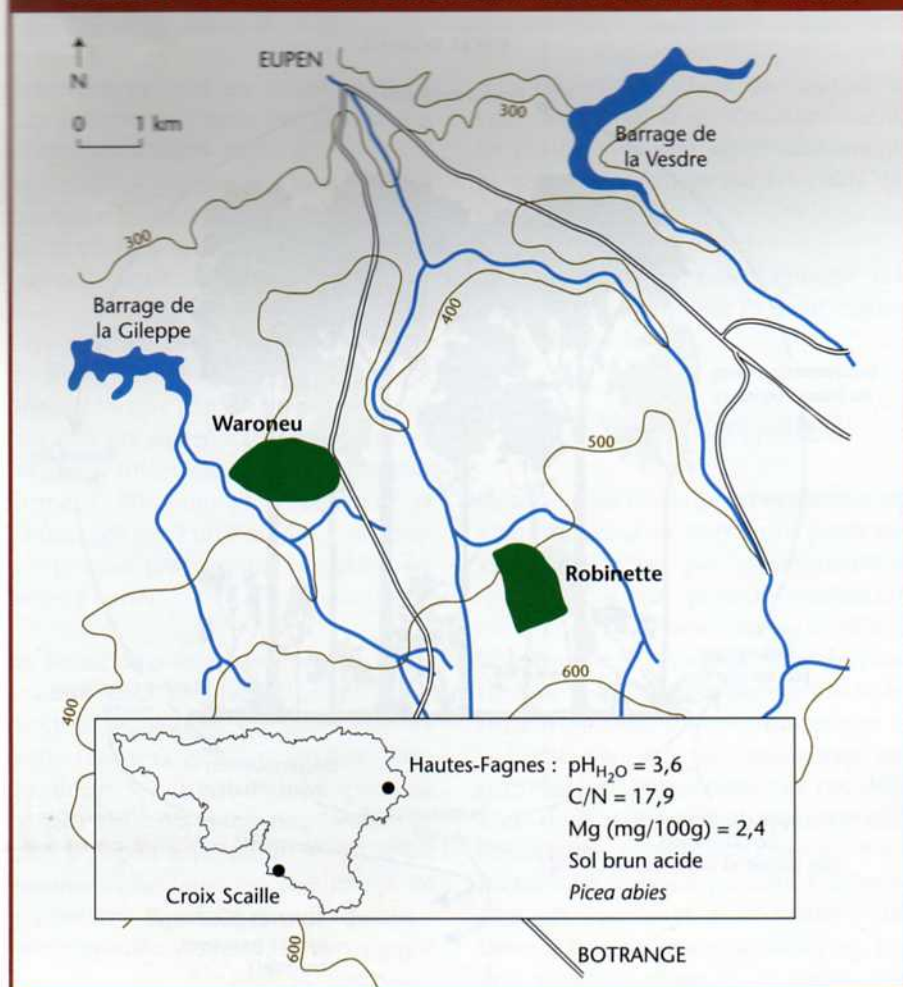
rémanents, une partie importante de ce retour de litière est supprimée. Nous pouvons alors nous poser la question de l'effet de l'exportation en nutriments de l'écosystème par exploitation des troncs, des rémanents et par les sorties à l'exutoire sur la fertilité à long terme du site ou en d'autres termes sur le capital nutritionnel du site.

LE BASSIN VERSANT

Nous effectuons des études par approche en bassin versant c'est-à-dire un bassin de drainage de surface définie avec un seul point de sortie qu'on appelle l'exutoire. Nous y retrouvons (figure 2) les principaux postes du cycle biogéochimique comme défini ci-dessus, à savoir :

- ◆ les entrées par les pluies, les pluviollessivats ;
- ◆ les transferts internes, les écoulements ;
- ◆ et un seul point de sortie qui est l'exutoire. En faisant abstraction des pertes gazeuses, tout élément qui entre dans l'écosystème ou qui est libéré par le sol, ne peut quitter l'écosystème qu'à l'exutoire.

FIGURE 3 – LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DE LA ROBINETTE



Par le suivi de ce bassin versant, nous pouvons effectuer des bilans entrées/sorties qui nous permettent d'apprécier l'évolution de l'écosystème. Un autre avantage qui découle de cette approche est l'intégration, pour l'entièreté du bassin versant, de l'ensemble des processus biogéochimiques qui s'y déroulent (par exemple l'absorption des arbres et des transferts au niveau du sol).

Les données peuvent également être utilisées pour la validation de modèles mathématiques et pour l'évaluation de l'impact de diverses pratiques sylviculturales. Finalement, ces données ont servi au calcul des charges critiques (acidité et azote eutrophisant) pour les écosystèmes forestiers.*

UN EXEMPLE CONCRET

Nos sites d'études sont situés en Haute Ardenne : nous suivons deux bassins versants dans la région de la Croix Scaille et deux autres dans la région

* Les charges critiques sont les quantités maximales de polluants que les écosystèmes peuvent tolérer sans être endommagés.

des Hautes-Fagnes. Les bassins (environ 80 ha) sont situés sur sol brun acide avec un substrat géologique constitué de quartzites, de phyllades et des quartzophyllades.

Les résultats présentés ici concernent le bassin versant de la Robinette situé dans les Hautes Fagnes (figure 3). C'est un bassin versant de 81 hectares sur lequel une coupe de 22 hectares a été effectuée. Les pertes dues à cette coupe ont été évaluées par comparaison des mesures prises durant les 5 années précédant la coupe et les 5 années suivantes ainsi que par l'analyse chimique du bois exporté.

L'évolution de l'écosystème peut être suivie en établissant des bilans entrées et sorties. Pratiquement, on utilise les concentrations et le volume des solutions collectées pour calculer un flux en kg, et on pondère par la surface pour obtenir des flux en kg/ha. Ainsi :

- ◆ les mesures à l'exutoire nous permettent de calculer les sorties par lessivage ;
- ◆ les relevés des pluviollessivats nous donnent les entrées sur la surface boisée ;
- ◆ les mesures des pluies à découvert nous donnent les entrées sur la surface non boisée.

La somme des deux derniers postes nous donne les entrées totales et les flux nets sont calculés par la différence entre les entrées et les sorties. Ces flux sont généralement calculés sur une base annuelle.

Résultats

La figure 4 nous donne l'évolution des flux nets de l'écosystème sur dix ans pour l'azote minéral (ammonium et nitrate), l'azote minéral total, le calcium, le magnésium et le potassium, avant et après la coupe à blanc. Les données sont exprimées en kg/ha/an. Lorsque le flux net est positif, nous avons un gain ou une accumulation d'éléments dans l'écosystème. Inversement, un flux négatif signifie que le système perd des éléments, qu'il s'appauvrit. Enfin, lorsque le flux est égal à zéro, l'écosystème est en équilibre.

On remarque pour l'azote, que l'écosystème accumule en moyenne 10,5 kg par hectare par an et que la coupe ne change rien à cette situation.

FIGURE 4 – ÉVOLUTION DES FLUX NETS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA ROBINETTE DE 1991 À 2001

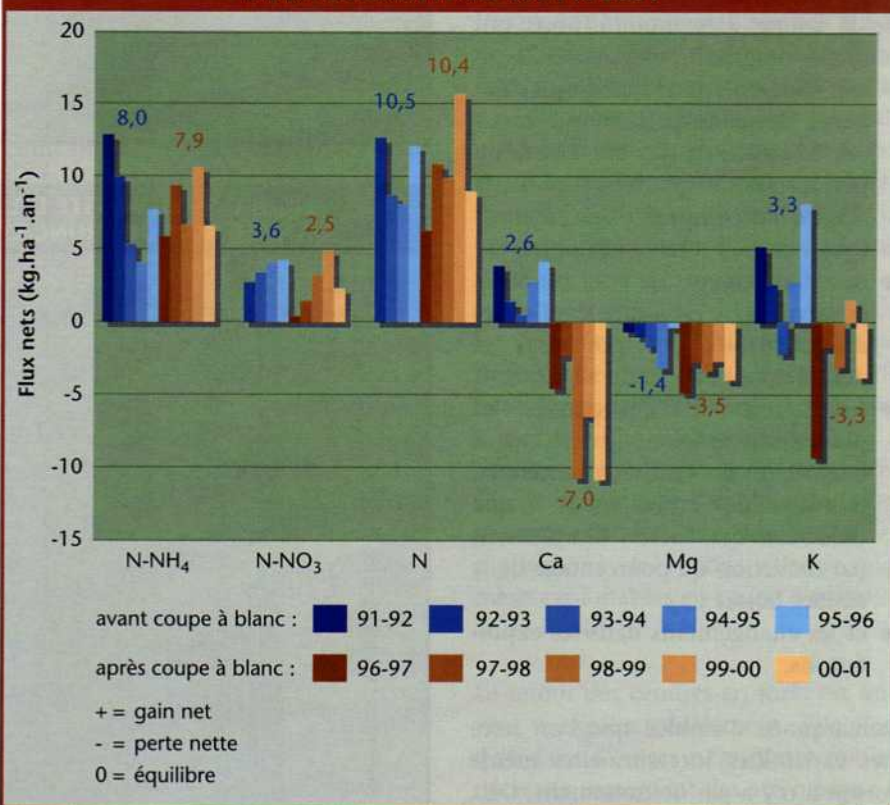
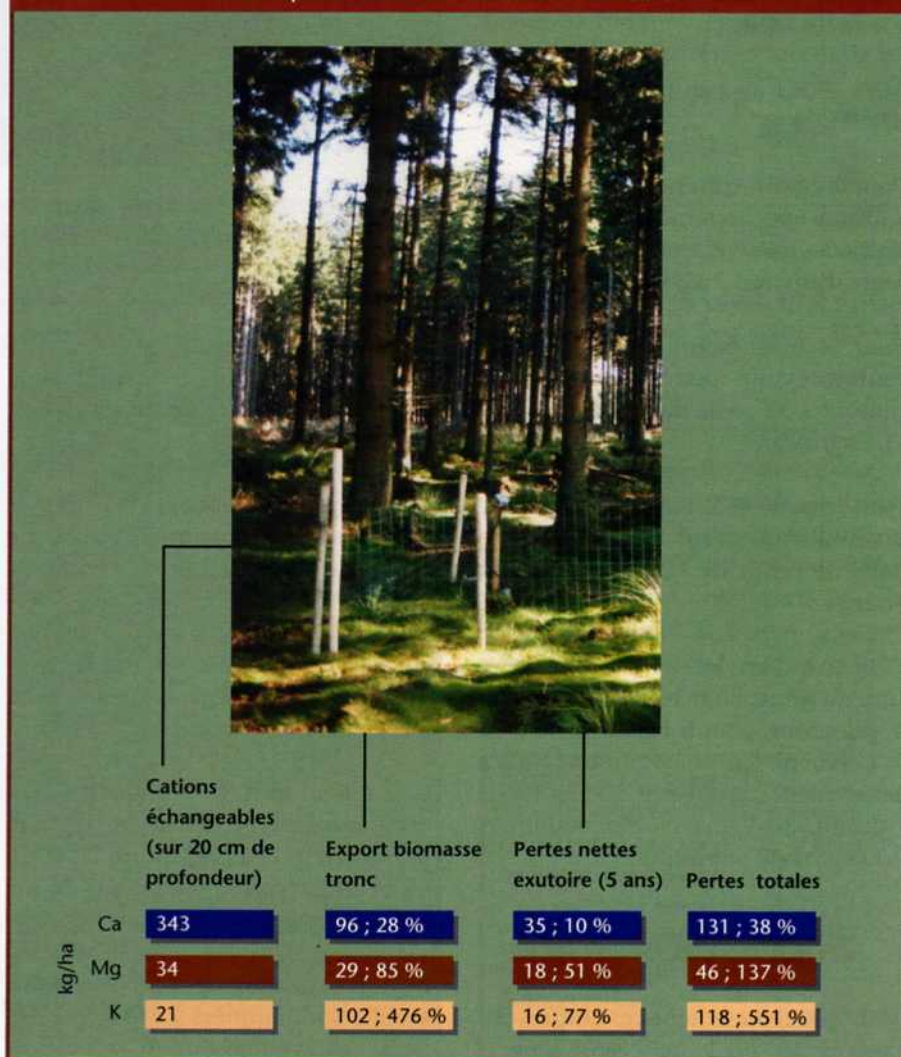


FIGURE 5 – COMPARAISON DES RÉSERVES ET DES EXPORTATIONS EN CA, MG ET K 5 ANS APRÈS LA COUPE



Par contre, pour les autres éléments, nous observons des effets très marqués de la coupe. Ces modifications ont plusieurs origines :

- ◆ les changements de flux d'eau, c'est-à-dire les quantités d'eau qui traversent le bassin (la réduction de l'évapotranspiration par réduction de la surface boisée entraîne une augmentation du flux d'eau à l'exutoire) ;
- ◆ des changements de concentration en éléments, c'est-à-dire le reflet des modifications des processus se déroulant au niveau du sol ;
- ◆ les changements des entrées, les pluviollessivats étant généralement plus riches en éléments minéraux, la coupe des arbres mène à une réduction des entrées simplement par réduction du pourcentage de la surface boisée ;
- ◆ et les changements dans les exportations.

Remarquons d'emblée que l'on note des variabilités interannuelles même lorsqu'il n'y a pas de traitement. Cela signifie que les données annuelles ne suffisent pas pour tirer des conclusions fiables sur le fonctionnement d'un écosystème.

Mais allons un peu plus loin dans le détail.

Pour le calcium, on note avant la mise à blanc une accumulation moyenne de 2,6 kg/ha/an et, après la coupe, une perte d'environ 7 kg/ha/an.

Pour le magnésium, la coupe vient renforcer une perte déjà présente puisque l'on passe de -1,4 kg/ha/an à -3,5 kg/ha/an.

Pour le potassium enfin, on note une accumulation avant la coupe et une perte moyenne de 3,3 kg/ha/an par la suite.

Pour ce qui est des pertes par exportation du tronc, on se réfèrera au tableau 1. Elles sont, pour le bassin versant de la Robinette (en supposant une mise à blanc totale), d'environ 100 kg/ha de calcium, 30 kg/ha de magnésium et 100 kg/ha de potassium.

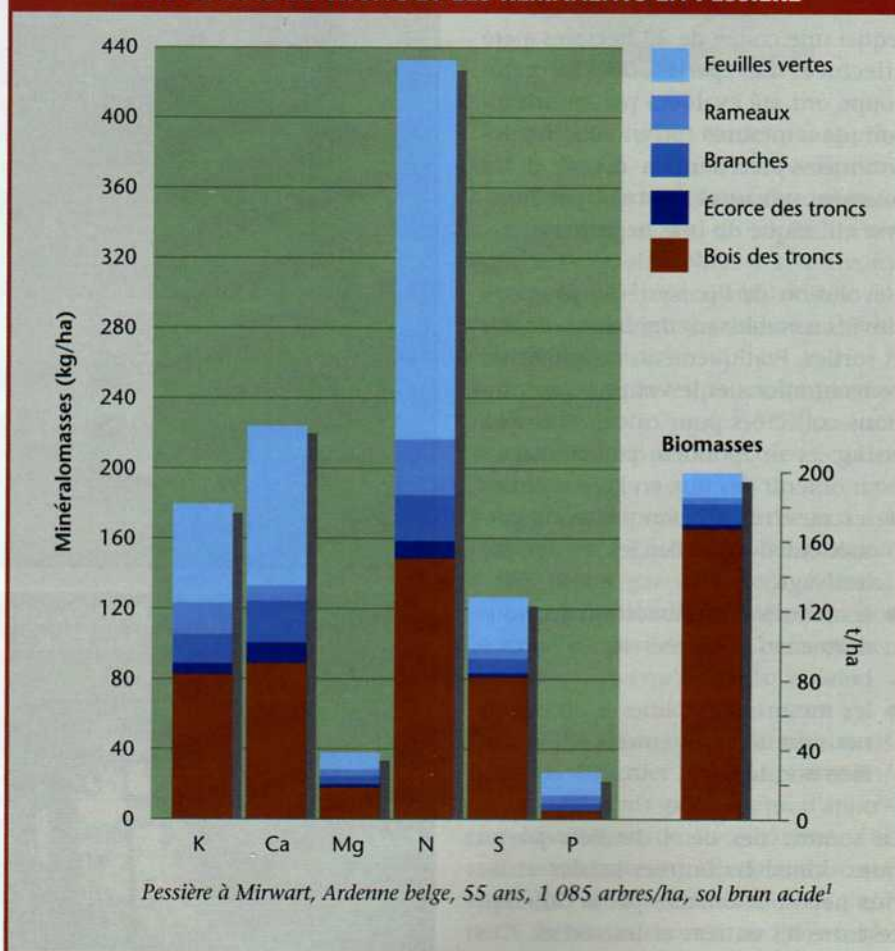
STOCK DE L'ÉCOSYSTÈME

Mais que représentent ces chiffres par rapport au stock de l'écosystème ?

TABLEAU 1 – PERTES EN AZOTE ET EN CATIONS BASIQUES PAR EXPORTATION DU TRONC (PICEA ABIES)

	Surface	N	Ca	Mg	K
Exportation Robinette Tronc (kg)	22 hectares	2751	2102	635	2237
Exportation calculée bassin versant (kg/ha)	81 hectares	125	95,5	28,9	101,7

FIGURE 6 – QUANTITÉ D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX PRÉSENT DANS LE BOIS DE TRONC ET LES RÉMANENTS EN PESSIÈRE¹



Pessière à Mirwart, Ardenne belge, 55 ans, 1 085 arbres/ha, sol brun acide¹

Sont-ils significatifs ? Il convient pour cela de comparer les exportations aux réserves du sol.

Les réserves du sol ont été évaluées en se basant sur la quantité de cations échangeables c'est-à-dire ceux accessibles aux plantes. Seuls les vingt premiers centimètres du sol ont été pris en compte puisque le système racinaire dans cet écosystème semblait limité à cette profondeur.

Ces valeurs ont été comparées aux exportations : biomasse de tronc et pertes nettes à l'exutoire soit la somme des pertes totales sur 5 ans après la coupe à blanc (figure 5).

Pour le calcium, les réserves échangeables sont estimées à 343 kg/ha, les pertes par biomasse à 96 kg/ha, soit

28 % des réserves échangeables. Les pertes à l'exutoire sur 5 années sont estimées à 35 kg/ha soit 10 % des réserves échangeables ; les pertes totales pour le calcium se chiffrent à 131 kg/ha, soit 38 % des réserves échangeables.

Pour le magnésium, les réserves échangeables sont nettement plus faibles : 34 kg/ha. Ceci tient à l'extrême pauvreté des sols sur lesquels les écosystèmes sont établis. Dès lors, les pertes par exportation de la biomasse du tronc représentent 85 % des réserves échangeables du sol et celles enregistrées à l'exutoire 51 %. Au total donc, la mise à blanc nous a coûté 137 % des réserves échangeables en magnésium.

Pour le potassium, la situation est encore plus critique. On ne dispose

que d'une réserve de 21 kg/ha de potassium échangeable. L'exportation de 102 kg/ha par les troncs représente donc à elle seule 476 % des réserves échangeables. De même, les pertes nettes à l'exutoire s'élèvent à 77 % des réserves échangeables. Nous comptabilisons, au total, des pertes de 551 % en potassium par l'exportation des troncs et les lessivages.

Nous voyons donc que les pertes cumulées de la coupe à blanc et de l'exportation des troncs sont considérables.

Face à ces chiffres déjà élevés, on est en droit de se poser la question de l'impact de l'exploitation supplémentaire des rémanents. En se référant à deux études réalisées l'une sur un site comparable, l'autre en chênaie, on constate que les quantités d'éléments minéraux présents dans les rémanents sont loin d'être négligeables.

Il s'agit de données de DENAYER-DE SMET & DU VIGNAUD¹ (figure 6) relevées sur une pessière à Mirwart (Ardenne Luxembourgeoise), un site très comparable à nos sites d'études. Ces auteurs ont déterminé les quantités d'éléments minéraux dans le bois de tronc,

les écorces, les branches, les rameaux et les feuilles, qui, à l'exception des troncs, peuvent être assimilés plus ou moins aux rémanents. Nous constatons que les quantités de minéraux dans les rémanents sont au moins équivalentes à celles contenues dans les troncs, si pas supérieures.

Les autres données proviennent d'un site situé à Waroneu dans les Hautes Fagnes (figure 7) et permettent une comparaison avec des chênes. Elles présentent le pourcentage en éléments nutritifs dans les différentes parties du chêne. Pour le calcium, par exemple, nous pouvons voir que la quantité présente dans l'écorce est énorme au vu de celle présente dans les troncs. On peut voir aussi que dans les bois de diamètre inférieur, il y a des quantités considérables d'éléments minéraux.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les pertes par exportation des troncs et par lessivage sont très élevées par rapport aux éléments minéraux échangeables et cette situation est particulièrement critique pour le magnésium et le potassium. Or, le contenu en éléments minéraux des branches,

aiguilles, rameaux et écorces est au moins équivalent à celui des troncs. L'exploitation systématique des rémanents entraînerait donc une exportation supplémentaire non négligeable des éléments nutritifs qui pourrait mettre en péril le capital nutritionnel du site. Les conséquences à craindre sont des réductions de productivité et des problèmes de reprises à la plantation.

Il serait nécessaire d'estimer l'exportation réelle sur différents sites, de déterminer des indicateurs de la qualité des sols afin d'identifier les sites à risque et d'établir des lignes directrices sur les conditions d'exploitation. On pourrait, entre autres, déterminer les proportions de résidus raisonnablement exploitables en coupe d'éclaircie et/ou finale.

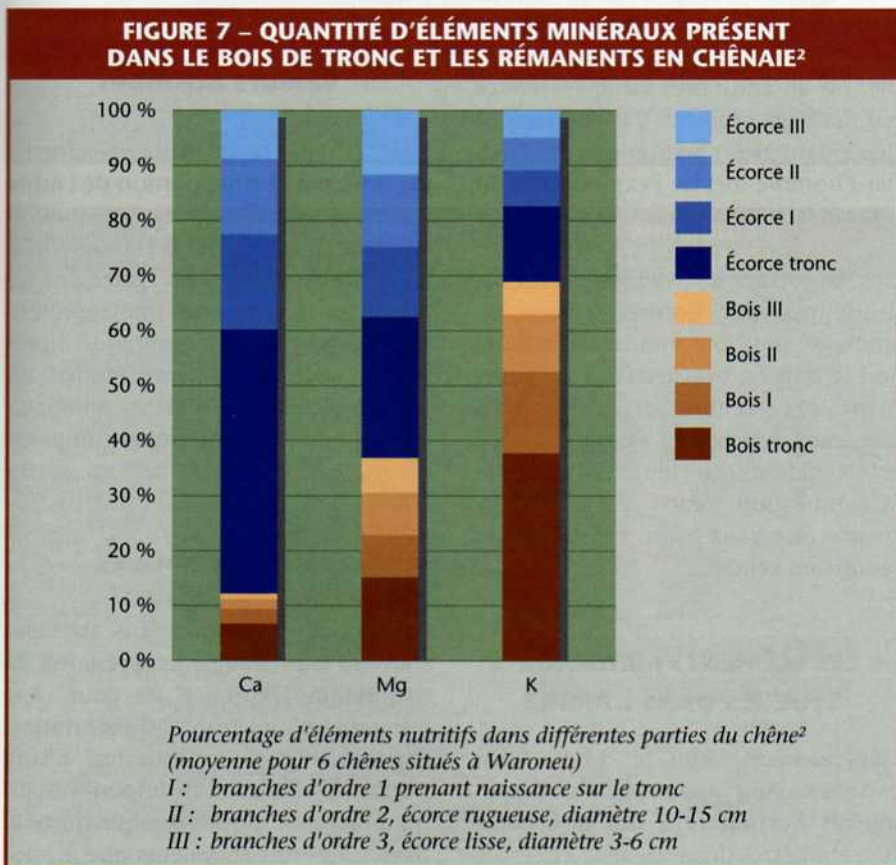
Le retour des cendres en forêt est une voie à explorer également. Elle l'est déjà dans d'autres pays. Cette option nécessite cependant des attentions : il n'est pas envisageable de déverser des métaux lourds dans les forêts et il convient d'évaluer les quantités optimales de cendre à épandre ainsi que d'en évaluer les effets secondaires potentiels.

Bibliographie

- ¹ DENAYER-DE SMET & DU VIGNAUD [1972]. *Bulletin de la Société royale Botanique de Belgique*, 105 : 197.
² BOSMAN, REMACLE & CARNOL [2001]. *Water, Air and Soil Pollution. Focus 1*, 2001 : 153-167.

Remerciements

Cette recherche a été financée par le Ministère de la Région wallonne (DGRNE) et la Politique Scientifique Fédérale (anc. SSTC). Je souhaite remercier toute l'équipe ayant participé à ce projet : B. Bosman, S. Dalem, L. Hogenboom, R. Kaye, A. Masuy, I. Ohlen, A. Piret, J. Remacle et M.-C. Requier.



PROFESSEUR MONIQUE CARNOL
 Écologie végétale et microbienne
 Département des sciences et gestion de l'environnement
 Université de Liège Bât. B 22
 Écologie végétale et microbienne
 Boulevard du Rectorat, 27
 B-4000 Liège
 e-mail : m.carnol@ulg.ac.be