

UNIVERSITE LAVAL

Faculté de foresterie et de géomatique

«La perte de nutriments par la récolte des grumes: une absurdité»

"Nutrient removals during forest harvesting: implications for site fertility"

par

B. Freedman

Department of Biology and School for Resources and Environmental Studies,

Dalhousie University

Halifax

Nova Scotia

Canada

traduit et commenté

par

Gilles Lemieux

professeur au département des

Sciences Forestières

et avec

la collaboration de

Alban Lapointe Ing. F.

Service des Techniques d'Intervention Forestière

Ministère des Forêts

Québec

août 1991

<http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>

Publication n° 19

Deuxième édition (1997)

édité par le

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Département des Sciences du bois et de la forêt

Université Laval

Québec Canada G1K 7P4

INTRODUCTION

Dans le cadre de nos travaux sur les BRF, nous avons considéré cet article du Dr Freedman important puisque pour une des premières fois, on met l'accent sur le bilan des nutriments selon les types d'exploitations. Ce sont ces raisons qui nous ont mené à traduire et commenté cet article de telle sorte que le lecteur soit mieux à même de saisir l'importance, à la fois, des propos originaux de l'auteur, rendus compréhensibles en français pour ceux qui sont moins familiers avec la langue anglaise et nos commentaires par rapport à l'économie des nutriments dans le cadre de la fragmentation des bois raméaux.

Nous avons introduit quelques néologismes dans le texte de commentaires (troisième paragraphe de chaque numéro en italique) dont celui de biosurplus remplaçant celui de *biomass* utilisé par l'auteur et dans la littérature anglophone en général. La définition de biomasse en français touche l'ensemble de la production biologique tant des animaux que des plantes de toutes les strates, y compris tout le système hypogé qui est tributaire en large partie de l'écosystème épigé. Dans le présent texte, le terme de biosurplus correspond à ce qu'il est traditionnellement convenu de qualifier de "déchets de coupe". Nous utilisons également le terme de "nutrimentiel" qui touche tout ce qui est propre aux nutriments et à leur dynamique, qui sont au centre même de nos discussions.

Enfin, pour terminer, nous croyons que le poids des arguments qu'apporte l'auteur est suffisant pour introduire la **notion de valeur des nutriments** dans le choix des techniques d'intervention tant au niveau de la récolte que des travaux sylvicoles. Nous sommes d'avis que la perte de nutriments devrait être évaluée et réclamée aux exploitants sous la forme de compensation pécuniaire de leur part. Il y aurait là "un argument de poids" à la bonne gestion des biosurplus et la régénération qui suit.

«La perte de nutriments par la récolte des grumes: une absurdité»

"Nutrient removals during forest harvesting: implications for site fertility"

1 • In Canada and elsewhere there has been an increasing trend to intensify forest harvesting. Large areas are now being clear-cut by whole-tree methods, in which as much as possible of the above-ground tree biomass is removed from the site. Substantial increases in yield accrue from biomass such as branches and foliage that is of poor quality for the manufacture of pulp, lumber or composite materials. However, the economics of whole-tree harvesting can be favorable because the additional biomass can be used to produce energy at mills or elsewhere, and because there can be savings in site-preparation costs.

1 • La tendance à la surexploitation forestière se manifeste partout à travers le monde. D'immenses territoires sont maintenant exploités par la méthode de la coupe à blanc en exportant les arbres entiers, donc la plus grande partie de la biomasse hors du parterre de coupe. Une augmentation sensible des rendements provient de la récolte de la biomasse, comme les rameaux et les feuilles, qui par ailleurs sont de piètre qualité pour la production de pâtes, bois d'oeuvre ou de matériaux composites. Néanmoins, l'exploitation des arbres entiers peut être économiquement viable, puisque la biomasse ainsi récoltée peut servir à la production d'énergie tant à l'usine que pour d'autres motifs, tout en économisant sur l'aménagement du site à reboiser.

1• *Le but de ce travail est nettement positif, c'est-à-dire de mettre en lumière l'importance d'introduire artificiellement dans l'écosystème via la biologie du cyclage des nutriments, toutes les parties de la végétation sur pied à l'abattage qui peuvent l'être. Nous devons cependant noter avec étonnement que l'auteur s'enferme, dès le début, dans un dilemme en notant que l'exploitation par arbres entiers, bien que provoquant des pertes considérables à tous les points de vue permet d'économiser sur l'aménagement du site à reboiser. Le paradoxe est tout à fait*

remarquable en faisant appel, non pas à la productivité et sa qualité, mais plutôt à une technique discutable, mais nécessaire après avoir laissé fuir le capital nutritif accumulé durant les décennies, sinon les siècles qui ont précédé.

2 • When a forest is harvested, nutrients that are entrained in the biomass are removed from the site. If these nutrient removals are large in comparison with the total quantity of nutrients on the site (i.e., the nutrient "capital"), and nutrient inputs by atmospheric deposition (weathering, etc.), the fertility can become impoverished (**Kimmins 1977; Freedman 1981; Gordon 1981 and Morrison 1989**). The productivity of the regenerated forest would consequently be less than that of the original stand, and the rotation period would be longer. This would have long-term implications for the ecological impoverishment of the potentially renewable forest resource, the quantity and the quality of wood supply from the forest management area and the future value of forest harvests (**Routledge 1987**).

2 • A l'exploitation des grumes, les nutriments contenus dans les biosurplus (*biomass*) sont exportés hors site. Si ces nutriments sont importants par rapport aux nutriments totaux disponibles et aux apports atmosphériques, ces exportations peuvent être la cause d'une diminution de la fertilité (**Kimmins, 1977; Freedman, 1981; Gordon, 1981; et Morrison, 1989**). Ceci aurait comme résultat que la forêt reconstituée sera de productivité moindre que la précédente; dont la succession sera plus longue. Ceci aura un effet à long terme par le biais de l'appauvrissement du potentiel écologique et renouvellement de la ressource forestière, donc de la quantité et de la qualité des bois produits ainsi que de la valeur à venir du site (**Routledge 1987**).

2 • *Nous sommes ici tout à fait d'accord avec les auteurs cités en ce qui regarde la déperdition de nutriments et l'effet à long terme. Nous commençons à soupçonner des variations notables dans la productivité des forêts et surtout de la qualité des grumes au Québec. Il en va de même des insectes qui prennent avantage des écosystèmes dans leurs qualités intrinsèques et leurs compositions spécifiques.*

3 • The most important factors affecting the quantities of nutrient removed during forest harvesting are (Freedman 1981, 1989:

- the of the stand being harvested, since older stands with their relatively large biomass have greater quantities of nutrient in the harvestable biomass.
- the species composition of the stand being harvested, since tree species differ in the nutrient concentrations of their tissues, and this influences the amount of nutrients in their harvestable biomass
- the inherent fertility of the site, since this influences the concentrations of nutrients in plant tissues, and thereby the quantities of nutrients in the harvestable biomass
- the nature of the harvest system, since very intensive whole-tree clearcuts will remove a much larger fraction of the nutrients present in the stand biomass, in comparison with the less intensive bole-only (stem-only) clearcuts, or thinning or shelterwood cuts.

3 • Les principaux facteurs qui provoquent la perte de nutriments à l'exportation des arbres sont, d'après Freedman 1981, 1989:

- l'âge du peuplement puisque plus le peuplement est vieux plus les biosurplus seront riches en nutriments.
- la composition du peuplement en différentes essences puisque le contenu en nutriments des tissus diffère d'une essence à l'autre.
- la fertilité propre au site qui influence largement la concentration en nutriments des tissus.
- la nature de la méthode de prélèvement des grumes puisque l'exportation des arbres entiers prélèvera une bien plus grande quantité de nutriments que celle des grumes seulement, de la coupe à blanc ou d'éclaircie.

3 • Les observations de Freedman sont particulièrement intéressantes et elles méritent d'être commentées:

- *Le fait d'exploiter des peuplements âgés à maturité serait donc un facteur supplémentaire important dans la déperdition des nutriments, particulièrement par exportation des nutriments hors du parterre de coupe. N'y aurait-il pas ici un énorme avantage à procéder à la fragmentation des biosurplus en BRF plutôt que de les laisser se détériorés pendant plusieurs années et contribuer à la*

perte par ruissellement alors que les mêmes nutriments pourraient être réintroduits dans la chaîne de vie?

- *La référence à la composition spécifique de l'écosystème forestier souligne d'une façon magistrale l'importance de la diversité biologique. Ceci est le cas non seulement pour chaque essence ou groupes d'essences, mais également au niveau des plantes et arbustes du parterre forestier et surtout de la composition de l'écosystème hypogé. Si le nombre d'essences est relativement restreint dans l'écosystème épigé, constitué par les êtres vivants au-dessus du sol, il l'est davantage dans la litière ainsi que dans tout le profil du sol.*

- *Quant à la notion de fertilité, elle nous semble largement tributaire des deux commentaires précédents. Elle nous semble être la résultante de la compatibilité biologique dans la diversité, où tous les stades d'évolution des écosystèmes hypogés et épigés sont en harmonie et peuvent procéder à des échanges bénéfiques à l'ensemble.*

- *Vu sous l'angle que nous venons d'esquisser, il devient évident que le mode de prélèvement des grumes devient un facteur primordial dans l'exportation et la déperdition des nutriments.*

4 • *L'auteur donne ici des chiffres importants sous plusieurs angles de la production de biosurplus à l'unité de surface (94 tonnes/ha dans ce cas), ce qui donne plus de 300 mètres cubes à l'hectare traduit en BRF. Toutefois, le plus intéressant réside dans le fait que la plus grande partie des nutriments se logent dans les biosurplus par rapport aux grumes, contenant 35% de plus pour N, 50% de plus pour P et 40% de plus pour K et 10% de plus pour Ca et Mg. Nous avons, pour une première fois, une idée de la valeur nutritive des BRF. Nous désirons souligner ici l'approche que nous qualifions d'"agricole" des aspects trophiques de la question forestière. Cette approche quantitative ne tient pas compte en aucun temps, de la dynamique du système. Cet aspect est d'autant plus important qu'en aucun cas, nous ne savons intervenir dans l'allocation des nutriments puisqu'ils sont tous prisonniers de systèmes biologiques qui les relâchent dans des séquences précises. Nous ne contestons pas la véracité des chiffres mis de l'avant ici, mais plutôt la pertinence de ceux-ci par rapport à la réalité.*

4 • Many studies have estimated the actual or potential removals of biomass and nutrient by intensive harvesting of a range of forest types (fore reviews see **Freedman 1981; Smith 1985; Kimmins et al. 1985**). In the present contribution standing crop data for a variety of stands in Nova Scotia will be used to approximate the biomass and nutrient removals by stem-only clearcuts, and whole-tree harvests of the above-ground tree biomass (table no. 1). For comparison with the removals during harvesting, nutrients in the upper soil plus forest floor, precipitation, and other sources are also examined. Across the eight hardwood and conifer stands of tableau no.1, the potential biomass and nutrient removals by a bole-only clearcut average 94 tonnes/hectare of biomass, 118 kg/ha of nitrogen (N), 13 kg/ha of phosphorus (P), 58 kg/ha of potassium (K), 186 kg/ha of calcium (Ca), and 18 kg/ha of magnesium (Mg). A more intensive whole-tree clearcut would additionally remove conventionally unmerchandiseable biomass such as small branches, twigs and foliage. Among the stands of tableau no.1, the increased yield of biomass by a whole-tree harvest could average as much as 50%, while nutrient removals could be larger by 170% for N, 200% for P, 160% for K, 100% for Ca and 120% for Mg.

4 • Plusieurs études ont porté sur l'évaluation des pertes encourues par l'exportation des biosurplus et des nutriments lors du prélèvement des arbres d'un grand nombre de types de peuplements (**voir Freedman 1981; Smith 1985; Kimmins et al. 1985**). Dans le présent travail les données provenant d'un grand nombre de peuplements sur pied de Nouvelle-Écosse seront utilisées pour estimer l'exportation des biosurplus et des nutriments selon la méthode de coupe à blanc en regard du prélèvement des grumes seules ou des arbres entiers (tableau no.1). Nous avons également tenu compte de l'exporation des nutriments présents dans la litière et le sol, des apports atmosphériques et autres sources à des fins de comparaison. Ainsi, des huit types de peuplements feuillus ou de conifères (tableau no.1), l'exportation potentielle des biosurplus et des nutriments par le prélèvement des grumes seules par la coupe à blanc est en moyenne de 94 tonnes/hectare pour les biosurplus, 118 kg/ha pour N, (azote), 13 kg/ha pour P, (phosphore), 58 kg/ha pour K, (potassium) 186 kg/ha pour Ca, (calcium) et 18 kg/ha pour Mg (magnésium). En plus, l'exportation des

arbres entiers par coupe à blanc, enlève du site les biosurplus n'ayant aucune valeur commerciale ou industrielle comme les ramilles, branches et feuilles. Parmi les peuplements mentionnés au tableau no.1 la masse que représente les biosurplus représente jusqu'à 50% de la biomasse tandis que l'exportation des nutriments peut-être aussi grande que 170% pour N, 200% pour P, 160% pour K, 100% pour Ca et 120% pour Mg par opposition au prélèvement uniquement des grumes.

5 • Therefore, whole-tree clearcuts of these stands would result in moderate increases in the yield of useful biomass, but these would be realized at the ecological expense of much more intense removals of essential nutrients.

5 • Ainsi, la coupe à blanc par arbres entiers résulte en une mince augmentation des biosurplus utilisables, mais comme résultat, l'exportation massive de nutriments essentiels qui ajoute à la dégradation écologique des peuplements.

5 • *Nous ne pouvons que souscrire à ces propos, bien que nous nous interroguions sérieusement sur la notion même de "coupe à blanc". Quelles sont les différences fondamentales entre la "coupe à blanc", une parcelle d'un are, une autre d'un hectare, 100 ha, 1,000 ha, 10,000 ha ou 100,000 ha. Quelles sont les caractéristiques physiques, chimiques, nutritives, édaphiques, énergétiques microbiologiques, etc. entre un peuplement "sain", une coupe jardinatoire, une coupe à diamètre limite, une coupe de conversion, une "coupe à blanc" ou un brûlis? Bien malin qui saurait répondre d'une manière réaliste et honnête! Il nous semble pourtant bien important que la question forestière soit ainsi posée à l'approche du vingt et unième siècle!*

6 • The most important reason for the large difference between the enhanced yields of biomass and nutrients, is that much of the extrabiomass removed by the whole-tree harvest involves nutrient-rich tissues (**Freedman et al. 1982a; Hendrickson 1987**). This can be illustrated by a comparison of the nitrogen concentrations of various components of trees. Averages across six hardwood species in Nova Scotia, the nitrogen concentrations were 0,13%% (dry weight) in bole-wood, 0,44% in bole-bark, 2,1% in foliage,

0,44% in live branches and 0,28% in dead branches. Among four conifer species, these tissues averaged 0,087%, 0,31%, 0,84%, 0,35% and 0,24% respectively. Other nutrients show a similar pattern (**Freedman et al. 1982a**).

6 • La raison la plus importante de l'exportation des nutriments provient du fait que ce sont les tissus les plus riches en nutriments qui sont concernés lors de l'exploitation par arbres entiers (**Freedman et al. 1982a; Hendrickson 1987**). Ceci est particulièrement le cas en comparant le contenu en azote des diverses composantes des arbres. Six essences feuillues de Nouvelle-Écosse montrent une moyenne de 0,13% (poids sec) en concentration d'azote au niveau du bois de tronc, de 0,44% au niveau de l'écorce du tronc, de 2,1%, dans le feuillage, de 0,44% dans les branches vertes et de 0,28% dans celles qui sont sèches. Pour ce qui est des conifères, les mêmes parties donnent respectivement 0,087%, 0,31%, 0,84%, 0,35% et 0,24%. Certains autres nutriments montrent une distribution analogue (**Freedman et al. 1982a**).

6 • *Sans identifier les BRF, l'auteur met le doigt directement sur la question en indiquant la localisation des principales concentrations de nutriments. Il met en relief l'importance des rameaux, feuilles et aiguilles ainsi que tous les tissus cambiaux qui sont exportés hors site lors de l'exploitation sans raison valable. Toutefois, ces chiffres, s'appliquant à plusieurs essences à la fois, ne nous semblent pas traduire une réalité beaucoup plus nuancée selon les espèces, le temps de prélèvement des échantillons, la saison, les caractéristiques édaphiques et phytosociologiques, etc... Nos observations (**Lemieux 1985, 1989**), montrent de grandes variations sur les effets produits au niveau de la régénération forestière selon les essences et leurs effets sur l'humification à travers l'intervention des BRF (**Toutain et Lemieux 1991**).*

7 • A conceptually simple evaluation can be made of the ecological importance of the nutrient removal from these stands by comparing them with the amounts of nutrients present in the forest floor and upper mineral soil, where most feeding roots are found. On average, the potential whole-tree harvest removals are equivalent to 6,3% of the total N content of the upper

soil plus forest floor, 3,9% of the total P, 1,0% of the total K, 29% of the total Ca, and 0,5% of the total Mg (table no. 1). With the exception of calcium (discussed later), these percentages are rather small. Important nutrient impoverishment of the site might not be expected, except perhaps after several whole-tree rotations.

7 • On peut se faire une idée assez juste de l'importance et de la valeur écologique des nutriments présents dans la roche-mère et les horizons supérieurs du sol minéral où l'on retrouve la majorité du système racinaire. L'exportation de l'azote par le prélèvement des arbres entiers lors de l'exploitation représente en moyenne 6,3% de l'azote total, 3,9% du phosphore, 1,0% du potassium, 29% du calcium ainsi que 0,5% du magnésium total. (voir tableau no.1). A l'exception du calcium dont il sera question plus loin, ces pourcentages sont relativement peu importants. Un appauvrissement sensible en nutriments du site ne semble pas important sauf peut-être après plusieurs récoltes sous la forme d'arbres entiers.

7 • Il est vrai que l'ensemble des nutriments exportés par la coupe à blanc par arbres entiers ne représente pas une somme importante du capital total des nutriments, mis à part le cas du calcium. Nous pensons toutefois que d'aussi petites quantités représentent des efforts considérables de la part de tout l'écosystème réparties sur plusieurs années, puisqu'une grande partie de la gestion de ces nutriments est assurée par l'écosystème hypogé selon sa capacité, l'énergie reçue (thermique) et l'énergie présente (trophique). Le rôle des différents mécanismes d'humification nous semble ici des plus important.

8 • However, the whole-tree nutrient content is relatively larger when compared with the available soil nutrient pool, since the latter is considerably smaller than the total pool. Across the sites of tableau no.1, the potential whole-tree removals are equivalent to 4,9 times the quantity of soluble N, 0,26 times the extractable P, and 0.85, 1.2 and 0,33 times the exchangeable K, Ca, and Mg respectively.

8 • Toutefois, il faut reconnaître que le contenu en nutriments des arbres entiers est relativement important par rapport à la somme des nutriments du sol disponibles, ceux-ci représentant une fraction infime du total. Si on se réfère au tableau no.1 pour l'ensemble des sites forestiers, le potentiel des exportations par arbres entiers est de 4,9 fois la quantité d'azote soluble, 0,26 fois celle du phosphore, 0,85 fois celle du potassium ainsi que 0,33 pour le calcium et le magnésium.

8 • *Il est impossible de ne pas faire la différence entre les nutriments présents dans le milieu et ceux disponibles. Exprimé en nutriments solubles et disponibles, les pertes en pourcentage seront de 500% en ce qui regarde l'azote, de 26% pour le phosphore, 85% pour le potassium et de 33% dans le cas du calcium et du magnésium. Ce sont là des pourcentages énormes dans le cas des sites pauvres et à faible croissance.*

9 • Therefore, in this simplistic evaluation of the importance of nutrient removal by clearcutting, rather different conclusions could be reached about the effects on site nutrient capital, depending on whether the nutrient removals are expressed relative to the total of the available soil pools. Along with the biota, the total soil pools represent the gross nutrient capital of the site, although most of this quantity is present in chemical forms which preclude immediate availability for plant uptake. To become available to plants, these insoluble nutrient compounds must be mineralized and made soluble in the soil water by either inorganic or microbial processes.

9 • Bien que ceci nous permet une évaluation simple de l'importance relative de l'exportation des nutriments par la coupe à blanc, des conclusions différentes pourraient être tirées sur les effets du capital nutriments du site selon que l'on fait référence à la somme totale des nutriments ou à ceux disponibles. Les nutriments disponibles sont exprimés sous la forme chimique directement assimilables par les plantes. Pour devenir assimilables, ces nutriments insolubles doivent être minéralisés et passer dans la solution du sol sous l'influence de processus inorganiques ou microbiologiques.

9 • *Pour la première fois et sous une forme restrictive, l'auteur fait appel au rôle de la microbiologie, mais uniquement en ce qui regarde l'attaque de la roche en place pour la libération de nouveaux nutriments. Nulle part sera-t-il question du rôle de la microfaune et de la microflore de tout ce monde. Cette omission nous convainc de plus en plus de la vision exprimée en termes agricoles du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Il nous semble évident à plus d'un chef que le fonctionnement de toute la forêt est assurée par une immense machine biologique fort bien rodée, qui dérape souvent avec des perturbations d'une amplitude donnée (Perry, Amaranthus, Borchers, Borchers & Brainerd 1989), au-delà desquelles la régression est totale et la stérilisation complète pour des périodes allant jusqu'à 100 ans et plus.*

10 • Although the available nutrient pools in the soil are small, they are relatively ephemeral because their replacement times tend to be short. For example, the turnover times of the available pools of N and Ca in a aggrading hardwood forest in New Hampshire were estimated to be only 1.2 and 7 years, respectively (Likens et al. 1977; Bormann and Likens 1979). Therefore, it may not be ecologically important that apparent depletions of available nutrients are calculated in the simple box-model exercise performed above. In fact, numerous studies have demonstrated short-term increases in available nutrients (especially nitrate) after logging and other types of forest disturbance (Likens et al. 1977; Vitousek et al. 1979; Krause 1982). In general, for longer term purposes it may be more useful to compare the potential harvest removals of nutrients to the total soil quantities, rather than to the available quantities (Freedman 1981; Hornbeck and Kropelin 1982).

10 • Bien que les nutriments disponibles dans le sol soient peu abondants, ils le sont en plus sur une courte période de temps. A titre d'exemple, le temps de rotation de l'azote et du calcium disponible dans une forêt feuillue qui se reconstitue dans le New-Hampshire (USA) ont été évalués à 1,2 et 7 années respectivement (Likens et al. 1977: Bormann & Likens 1979). Il n'est peut-être pas utile que la perte de nutriments soit exprimée par une modélisation aussi simple. En réalité, un grand nombre d'études ont montré une augmentation de nutriments disponibles à court terme, particulièrement en ce qui regarde les nitrates, après

l'exploitation des tiges ou toutes autres interventions naturelles ou artificielles. (**Likens et al. 1977; Vitousek et al. 1979; Krause 1982**). Il nous semble plus important pour des besoins à long terme de comparer le potentiel des nutriments qui peuvent être exportés par rapport aux nutriments totaux, plutôt qu'aux nutriments disponibles (**Freedman 1981; Hornbeck & Kroplelin 1982**).

*10 • Le cyclage des nutriments tel que le présentent **Martin, Pierce, Likens, & Bormann (1986)**, dans le cas de l'azote et du calcium nous semble un argument de poids pour procéder à la fragmentation des bois raméaux. Plusieurs prétendent, de nos jours, que l'incendie forestier joue un rôle bénéfique. Si on prend en compte la déperdition de calcium dans nos sols minces par la minéralisation, il nous semble plutôt que le feu est une catastrophe majeure plutôt qu'un bienfait temporaire. Tout comme lors de l'incendie forestier, la coupe forestière montre la mise en disponibilité de plusieurs nutriments dont l'azote en particulier. Nous pensons que la fragmentation des biosurplus serait favorable au freinage de cette minéralisation d'une façon à la fois physique, chimique, biochimique et microbiologique.*

11 • Consideration of average data for eight stands in Nova Scotia (tableau no. 1) indicates that the potential whole-tree removals were equivalent to less than 10% of the total soil N,P,K, and Mg, while for Ca a much larger average of 29% was calculated. This could indicate a need for particular concern over the depletion of site calcium by intensive forest harvesting. This could be especially risky for poor-quality sites (i.e. Land Capability 3-4 or less) in which thin soils have developed from tills composed hard oligotrophic minerals such as granite, gneiss and quartzite, Such sites occur widely in Canada and elsewhere, although they do not comprise the most productive land base for forestry. In Nova Scotia, poor-quality sites of this sort may have supported original stands of large biomass, but they do not sustain a high forest productivity, and their soils and aquatic watersheds are typically impoverished in calcium (**Cann et al. 1965; Kerekes et al. 1982,1989**).

11 • Si l'on prend en considération les valeurs moyennes exprimées au tableau no.1 de huit peuplements de Nouvelle-Écosse, ils nous montrent que le potentiel d'exportation des

nutriments par l'exploitation selon la technique des arbres entiers est de moins de 10% du total du sol pour ce qui est de N, P, K et Mg alors qu'il est de 29% dans le cas de Ca. Cela nous indique qu'il y a ici matière à réflexion sur le cycle du calcium en fonction du mode de prélèvement des grumes. Ceci pourrait être particulièrement dangereux dans le cas des sites de pauvre qualité (3-4), sur lesquels la pédogénèse s'est faite à partir d'une moraine de fond à base de matériaux oligotrophes comme les granites, gneiss, quartzites etc. De tels sites sont extrêmement répandus en milieux forestiers partout au Canada de même qu'à l'étranger, bien qu'ils ne représentent pas la base des sites forestiers productifs. Pour ce qui est de la Nouvelle-Écosse, de tels sites ont produit une importante biomasse, mais sont incapables d'une grande productivité forestière soutenue; leurs sols de même que tous les bassins-versants sont particulièrement pauvres en calcium (**Cann et al. 1965; Kerekes et al. 1982, 1989**).

*11 • Le problème du calcium nous semble bien expliqué et les exportations nous semblent particulièrement critiques dans la chaîne des Laurentides alors que les Appalaches avec leur diversité pétrographique, nous sembleraient un peu moins sensibles. Il est à noter que nous avons obtenu des résultats de régénération selon que les BRF furent récoltés en période dormante, sans feuilles ou en période de pleine croissance. L'épandage de drêches de thuya dans l'érablière à également été remarquable en ce qu'après 4 années, dès que les drêches furent humifiées, nous avons noté une abondance exceptionnelle de racelles d'érables à sucre dans la masse. Nous en déduisons qu'il y a concomitance entre la disponibilité du calcium des drêches et le déclenchement du processus d'humification. Nous faisons la même observation chez des parcelles de chêne rouge (*Quercus rubra*), de sureau blanc (*Sambucus canadensis*), et de charme (*Carpinus caroliniana*) (**Toutain & Lemieux 1991**). Cet aspect met en relief l'importance de la période de prélèvement des tiges, le cycle du calcium et les effets bénéfiques de la fragmentation des bois raméaux.*

12 • Researchers elsewhere have also identified calcium as a nutrient whose site capital could be impoverished by intensive forest harvesting. Potentially susceptible sites include poor quality black spruce and jack pine sites in Québec (**Weetman and Webber 1972; Weetman and Algar 1983**), and trembling aspen and mixed aspen-hardwood sites in Wisconsin (**Boyle and Ek 1972; Boyle et al., 1973**).

12 • Des chercheurs étrangers ont également indiqué l'appauvrissement en calcium par une exploitation forestière intensive. Les peuplements susceptibles à l'appauvrissement en calcium sont ceux d'épinette noire (*Picea mariana*) et de pin gris (*Pinus divaricata*) (**Weetman & Weber 1972; Weetman & Algar 1983**), les tremblaies (*Populus tremuloides*) ainsi que des tremblaies à autres feuillus au Wisconsin (USA) (**Boyle & Ek 1972; Boyle et al. 1973**).

12 • Ne serait-ce que pour l'économie du calcium dans la gestion des nutriments des écosystèmes forestiers les plus sensibles et les plus importants économiquement au Québec que sont la pessière noire et pinède grise, la fragmentation des biosurplus devrait être envisagée sérieusement.

13 • In the case of stands dominated by seasonally-deciduous tree species, the nutrient removal by harvesting can be partially mitigated by cutting during the dormant leafless season. For example, the mid-summer quantity of foliar nutrients of the mature tolerant hardwood stand of tableau no.1 was 63kg N/ha, 6kg P/ha, 29kg K/ha, 19kg Ca/ha and 6kg Mg/ha. (**Freedman et al.1982b**). These are equivalent to 18% of the whole-tree quantity of N, 16% of P, 16% of K, 4% of Ca and 13% of Mg. Some of these foliar nutrient would be resorbed into perennial woody tissues before leafdrop in the autumn, and would therefore be removed from the site even by a harvest during the leafless season. **Ryan and Bormann (1982)** reported that about half of the N, P, and K were resorbed from foliage prior to leafdrop, while Ca and Mg largely remained in the aging foliage. Therefore, only about half of the growing season quantity of foliar N, P, and K, would be removed by a harvest when the trees were seasonally leafless, but most of the foliar Ca and Mg would remain on the site.

13 • Pour ce qui est des peuplements composés de feuillus décidus, l'effet négatif causé par l'exportation des nutriments

peut être atténué en procédant à l'abattage en saison dormante. A titre d'exemple, les nutriments contenus dans feuilles des feuillus climaciques à maturité est de 63 kg/ha d'azote, 6 kg/ha de phosphore, 29 kg/ha de potassium, 19 kg/ha de calcium et 6 kg/ha de magnésium (**Freedman et al. 1892b**). Cela représente l'équivalent de 18% du total de l'azote de l'arbre entier, 16% du phosphore, 16% du potassium, 4% du calcium ainsi que 13% du magnésium. Une partie de ces nutriments se résorberont dans des tissus ligneux à la chute des feuilles et seront ainsi exportés quelle que soit la saison. **Ryan & Bormann (1982)** nous indiquent que la moitié de l'azote, le phosphore et le potassium contenue dans le feuillage est résorbé dans les rameaux avant la chute des feuilles tandis que le calcium et le magnésium restent dans le feuillage qui tombera au sol. Ainsi seulement la moitié de l'azote, du phosphore et du potassium contenue dans le feuillage sera exportée par la récolte des grumes, alors que la presque totalité du calcium et du magnésium restera sur le site.

*13 • Il nous semble évident que la fragmentation des biosurplus réglerait, en bonne partie, le problème de la déperdition des nutriments et tout particulièrement celui du calcium. Nous regrettons cependant que l'auteur, encore une fois, se soit limité à regarder le bilan des nutriments sans porter attention à la dynamique et à la mécanique. Nous attirons l'attention sur les travaux de **Martin, Pierce Likens & Bormann (1986)** qui soulignent et comparent avec un peuplement en équilibre la perte de nutriments lors de la coupe à blanc dans les forêts feuillues du New-Hampshire aux USA. Ainsi, la perte en nitrates mesurée dans les eaux de ruissellement est à son maximum en avril-mai de la deuxième année avec un second pic analogue la troisième année après l'exploitation. Les pertes en calcium maximum se situent en janvier, celles en sulfates en septembre, en magnésium en janvier de même qu'en sodium et en potassium, toujours de la deuxième année de l'exploitation. Cela présente le résultat de l'activité microbiologique qui a libéré ces nutriments à partir des composés biochimiques, enzymatiques et autres dans lesquels ils avaient une*

*fonction métabolique. Cette libération de nutriments se fait donc négativement en ce sens qu'ils ne peuvent être réutilisés par l'écosystème défaillant. Nos observations nous portent à penser que les mêmes nutriments, contenus dans les BRF, sont directement cyclés à travers la diversité microbologique du sol pour être réutilisés dès que l'écosystème épigé aura retrouvé un certain équilibre. C'est la réduction du nombre d'espèces intolérantes comme celles du genre *Rubus* ainsi que du genre *Prunus*, avec une augmentation et une persistance des semis d'essences climaciques comme *Acer saccharum* et *Betula alleghaniensis*, qui nous donnent à penser que l'apport de BRF à l'exploitation est susceptible de maintenir des conditions où la dénitrification et la déperdition de nutriments est freinée, permettant un rétablissement beaucoup plus rapide de l'écosystème recherché dans la mesure où il tend vers le climax.*

14 • Note that some other types of forest harvest also result in substantial nutrient removals. For example, the harvesting of silvicultural wastes, possibly to produce biomass energy, could involve the whole-tree removal of small, defective, and dead stems during stand thinning or some other silvicultural treatment. Relatively large trees of good growth form would be left standing, and their subsequent productivity should be increased by the silvicultural treatment. Depending on the intensity of the stand cleaning, about 10% to 25% of the quantity of biomass and nutrients of the stand could be removed. In itself, this would probably not be a cause of concern with respect to site fertility. However, if the residual trees were later harvested by a whole-tree method then in effect the stand would have been harvested by a two-stage clearcut and the concerns for site fertility would be similar to those for a whole-tree clearcut.

14 • Il faut également souligner que d'autres méthodes de récolte sont également responsables de l'exportation des nutriments hors site. Il faut mentionner ici les biosurplus générés par les traitements sylvicoles exportés pour la production d'énergie. De telles pratiques impliquent l'exportation d'arbres entiers de petite taille ou ayant des défauts ainsi que des tiges sèches. Les arbres de bonne taille et de croissance acceptable seront ainsi laissés, provoquant une meilleure croissance à cause des traitements sylvicoles. Selon

l'intensité des travaux sylvicoles, de 10% à 25% des biosurplus et des nutriments du peuplement seront exportés hors site. En tant que tel, ceci ne devrait probablement pas être pris en considération au sujet de la fertilité du site. Toutefois, si les arbres résiduels étaient par la suite prélevés comme arbres entiers, cela serait l'équivalent d'une coupe à blanc en deux temps.

14 • *Il nous semble évident que tous les types actuels d'interventions tendent vers l'exportation ou la déperdition des nutriments. Ainsi pensons-nous que toutes les interventions sylvicoles devraient être accompagnées de la fragmentation des biosurplus dont les diamètres sont inférieurs à 7 cm ou 8 cm. Il nous semble également souhaitable de laisser sur le terrain de grosses grumes, inutilisables économiquement, qui servent de refuge aux différentes espèces animales ou végétales du monde microbiologique durant la période de reconstruction de l'écosystème (Harvey, Jurgensen & Larsen; 1983).*

15 • Similarly, slash might be harvested or windrowed after clearcutting, likely by raking or bulldozing the cut site to concentrate the residual biomass. The slash could be burned on site, or if the biomass was desired for energy purposes it could be chipped using relatively small, mobile unit. If the latter was done within a short time of clearcutting, the aggregate biomass and nutrient removals by a bole-only clearcut followed by slash removal would be similar to those that would have taken place by whole-tree clearcut. If the slash was collected two or more months after clearcutting, the most of the foliage would have dropped to the ground. This would decrease the nutrient removals somewhat (by about 10% to 15% for N,P,K, and Mg, but only two to three percent for Ca), without greatly affecting the yield of slash biomass.

15 • De même, les biosurplus peuvent être récoltés ou amenés en andains après coupe par ratissage. Les biosurplus peuvent être brûlés sur place, ou encore fragmentés sous forme de copeaux destinés à des fins énergétiques. Si cette fragmentation a lieu tout de suite après la coupe, cela sera l'équivalent de la coupe à blanc en exportant l'ensemble des nutriments contenus dans les biosurplus. Toutefois, si les biosurplus sont récoltés deux ou trois mois après l'abattage,

la masse foliaire serait tombée au sol. Cela limiterait l'exportation des nutriments, soit de 10% à 15% pour N, P, K et Mg mais seulement de 3% dans le cas du Ca, sans que la masse des biosurplus soit réduite de façon significative.

15 • Les propos exprimés ici nous semblent tout à fait ambivalents et paradoxaux. Nous pensons que, sur les terres publiques, toute cette question basée sur l'économie des nutriments, des capacités énergétiques du sol, de la fertilité du site devraient être mise dans la balance lors de l'exploitation ou de l'émission des permis octroyés pour cette dernière. Ainsi la perte de nutriments devrait être à la charge de l'exploitant, de même que la perte de fertilité et les périodes de temps perdues à la réfection de la forêt en place au début. La mise sur pied de telles mesures éviterait à coup sûr de tels raisonnements comme ceux de l'auteur qui est tout à fait inconséquent avec ses propres propos antérieurs. La promotion de la fragmentation des bois raméaux serait ainsi beaucoup plus conséquente que le labour profond, la scarification ou la plantation dans des conditions écologiques souvent très étrangères au bon sens le plus élémentaire en régénération forestière.

16 • Forest harvesting is not the only means by which nutrients can be removed from the site —streamflow and denitrification also result in losses. For typical terrain in central Nova Scotia, streamflow losses of N are equivalent to about 0.3 kg/ha per year or 30 kg/ha over a 100 year rotation, while losses of P are less than 1 kg/ha/year, K 3 kg/ha/year, Ca 15 kg/ha/year and Mg 10 kg/ha/year (tableau no. 1). The losses occur naturally in forested watershed (although their magnitude can be significantly increased for several years by disturbance associated with clearcutting, especially nitrate) and the losses are incremental to the nutrient removals by forest harvesting.

16 • L'exploitation forestière n'est pas la seule cause de l'exportation des nutriments, le ruissellement et la dénitrification en sont également la cause. Sur les sols caractéristiques du centre de la Nouvelle-Écosse, les pertes par ruissellement sont évaluées à 0,3 kg/ha/année pour l'azote ou 30 kg/ha/siècle, tandis que les pertes en phosphore sont moins de 1,0 kg/ha/année, 3,0/ kg/ha/année pour le potassium, 15 kg/ha/année pour le calcium et 10

kg/ha/année dans le cas du magnésium. Ce sont là des pertes normales et d'origine naturelle dans les bassins versants forestiers. Toutefois, ces ordres de grandeur peuvent être augmentés considérablement et pour plusieurs années à cause des perturbations amenées par la coupe à blanc, particulièrement en ce qui regarde les nitrates, ceux-ci provenant directement de l'exportation à cause du type d'exploitation forestière.

16 • Ici l'auteur touche des points qui sont intéressants sous plusieurs angles. Ainsi la fragmentation des bois raméaux sur le site de l'exploitation en même temps que la récolte restreint presque à néant le ruissellement en maintenant la structure de l'humus et en fournissant un nouveau couvert. Nos observations nous montrent que l'attaque fongique qui suit immédiatement l'épandage, établit un réseau mycélien immense et très puissant mécaniquement qui "attache" littéralement les copeaux de BRF les uns aux autres. Des observations sur des copeaux de bois caulinaires nous ont montré que tel n'était pas le cas que les copeaux étaient déplacés par le vent et l'eau en fonction de la pente. D'autre part, une telle litière permet une température légèrement inférieure en période de canicule réduisant ainsi l'activité microbiologique en favorisant surtout l'activité fongique initiale nécessaire à l'attaque de la lignine pour en faire des acides humiques et fulviques (**Leisola & Garcia 1989**). Enfin, nous sommes d'avis que l'activité microbiologique qui découle du chamboulement écologique de l'exploitation remet en circuit des produits azotés et des nitrates en particulier. Ainsi, ces nitrates peuvent être immobilisés en bonne partie par les BRF, plutôt que d'être livrés au ruissellement et ainsi à la perte pour l'écosystème nouveau qui prendra naissance à la suite de cette perturbation majeure.

17 • To some degree, nutrients lost by forest harvesting or streamflow are replaced by atmospheric deposition nitrogen fixation, and weathering of soil minerals. In central Nova Scotia, the atmospheric deposition of N is about 4 kg/ha/year, equivalent to 400 kg/ha over a 100-years rotation. This atmospheric deposition of N is of a similar magnitude to the amount of nitrogen in the whole-tree biomass of a mature forest.

17 • La perte de nutriments lors de la récolte des arbres ou par ruissellement sont partiellement remplacées par les apports atmosphériques et la fixation d'azote, ainsi que le weathering des minéraux du sol. Dans la partie centrale de la Nouvelle-Écosse l'apport atmosphérique d'azote est estimé à 4 kg/ha/année, soit l'équivalent de 400 kg sur une rotation centenaire. C'est la quantité d'azote contenue dans la biomasse des arbres entiers d'une forêt à maturité

18 Overall, it appears that for typical forested sites in Nova Scotia, several intensive harvests of forest biomass would probably be required before serious nutrient limitations would develop. A possible exception to this generalization is calcium which is present in a small quantity in many forested sites, and which could potentially be depleted relatively rapidly. Sites of initially poor quality (i.e. Land Capability class of 3-4 or less) might be especially vulnerable to impoverishment by intensive harvesting. Such sites should only be subjected to moderate harvests such as selection cutting, or at worst bole only cutting. Over the short term, relatively high capability sites (which comprise most of the productive forest land in Nova Scotia and Canada in general) would probably not be susceptible to nutrient impoverishment caused by intensive harvesting

18 • En ce qui touche la partie centrale de la Nouvelle-Écosse, il nous apparaît que plusieurs récoltes seraient nécessaires pour qu'une carence importante de nutriments se fasse sentir. Il est cependant possible qu'une ombre au tableau apparaisse avec le problème que pose le calcium présent en petite quantité sur plusieurs sites forestiers, ce qui pourrait faire l'objet d'une carence sévère. Les sites forestiers reconnus comme étant de pauvre qualité sont particulièrement susceptibles à l'appauvrissement en ce qui regarde Ca. De telles forêts ne devraient pas faire l'objet de récoltes intensives, mais plutôt être soumises aux coupes sélectives et, dans les cas extrêmes, n'exporter que les grumes tout en laissant les biosurplus sur place. A court terme, les forêts de haute qualité comme celles du centre de la Nouvelle-Écosse ne devraient pas être susceptibles de voir leur capital de nutriments grevé par une exploitation intensive.

18 • En terminant, nous pensons que l'économie des biosurplus devrait faire l'objet de beaucoup de recherche tant fondamentale qu'appliquée. Il est possible qu'une partie des biosurplus soit disponible pour des usages énergétiques ou industrielles, mais rien n'est moins sûr à défaut de connaissances pertinentes sur le fonctionnement fondamental des écosystèmes forestiers. A notre avis, il faut éviter les jugements de valeur généraux qui conduisent à des comportements industriels aberrants sans réflexion suffisante ni jugement éclairé. Il nous semble évident que l'utilisation de la fragmentation est appelée à se répandre rapidement, en particulier dans le cas des récoltes intensives, à quoi doit répondre une sylviculture du même ordre.

BIBLIOGRAPHIE

- Bormann, F.H. & Likens, G.E.(1979)** «Pattern and Process in a Forested Ecosystem». Springer-Verlag N-Y
- Boyle, J.R. & Ek A.R. (1972)** «An evaluation of some effects of bole and branch pulpwood harvesting on site macronutrients». Can, J, For Res. **2**: 407-412.
- Boyle, J.R., Philipps, J.J. & Ek, A.R. (1973)** «Whole-tree harvesting: nutrient budget evaluation» J. For.**71**: 760-762
- Cann, D.B., MacDougall, J.I. & Hilchey, J.D.(1965)** «Soil survey of Kings County, Nova Scotia» Report no. 15. Nova Scotia Department of Agriculture, Truro, N.S.
- Feedman, B, Duinker, P.N., Morash, Prager, U. (1982)** «Forest biomass and nutrient studies in central Nova Scotia. Part 2.Standing crop in a variety of stands». Information Report M-X-134. Canadian Forest Service, Maritime Forest Research Centre. Fredericton N.B,
- Foster, N.W & Morrison I.K.(1989)** «Effects of site preparation and full tree logging on nutrient cycling pp. 28-46» in: *Aspects of Site Preparation Biology And Practice.* ed P.M. Corbett, Ontario Ministry of Natural Resources Thunder Bay Ont.
- Freedman, B.(1981)** «Intensive-forest harvest: a review of nutrient budget considerations». Information Report M-X-121. Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre Fredericton N.B.
- Freedman, B., Duinker, P.N., Morash, Pager, U. & Barkaly, H.(1982)** «Forest biomass and nutrient studies in central Nova Scotia. Part 1.Biomass and nutrient standing crop equations». Information Report M-X-134. Canadian Forest Service, Maritime Forest Research Centre. Fredericton N.B,
- Freedman,B. (1989)** «Environmental Ecology. The Impacts of Pollution and other stresses on Ecosystems Structure and Function». Academic Press, San Diego

- Freedman, B., Duinker, P.N., Morash. (1986)** «Biomass and nutrients in Nova Scotian forest and implications of intensive harvesting for future site productivity.» *For. Ecol. Manage.* **15**: 103-127. (
- Gordon, A.G. (1981)** «Impacts of harvesting on nutrient cycling in the boreal mixedwood forest. pp-121-140 in: *Boreal Mixedwood Symposium. COJFRC Symp.. O-P-9*, Great Lakes Forest Research Centre, Sault-Sainte-Marie, Ont.
- Gosz, J.R., Holmes, R.T., Likens, G.E. & Bormann F.H. (1978)** "Le flux d'énergie dans un écosystème forestier". in *Pour la Science*, juin 1987 pp. 101-110.
- Harvey, A.E., Jurgensen, M.F. & Larsen, M.J. (1983)** "Effect of soil organic matter on regeneration in northern Rocky Mountain forests." pages 239-242 in R. Ballard et S.P. Gessel édit. *International Union of Forest Research Organization Symposium on Forest Site and Continuous Productivity*. USDA Forest Service General Technical Report PNW-163, Portland, Org. USA.
- Hendrikson, O. (1987)** «Winter branch nutrients in northern conifers and hardwoods». *For. Sci.* **33**: 1086-1074. (1987).
- Hornbeck, J.W. & Kropelin, W. (1982)** «Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods». *J. Environ. Qual.* **11**: 309-316 (1982).
- Kerekes J., Howell, G. Beauchamp, S. & Pollock T. (1982)** «Characterization of three lake basins sensitive to acid precipitation in central Nova Scotia». *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* **67**: 679-694
- Kerekes, J., Freedman, B. Beauchamp, S. & Tordon, R. (1989)** «Physical and chemical characteristics of three acidic, oligotrophic lakes and their watershed, in Kejimikujik National Park, Nova Scotia». *Water, Air, and Soil Pollut.*, **46**(special issue): 99-118.
- Kimmins, J.P. (1977)** «Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting». *For. Ecol. Manage.*, **1**: 169-183.
- Kimmins, J.P., Binkley D., Chatarpaul, L. & De Catanzaro, J. (1985)** «Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients.» Information Report PI-X-47E/F, Petawawa National Forestry Center, Chalk River, Ont.
- Krause, H.H. (1982)** «Nitrate formation and movement before and after clearcutting of a monitored watershed in central New Brunswick». *Can. J. For. Res.* **12**: 922-930.
- Leisola, M.S.A & Garcia, S. (1989)** "The mechanism of lignin degradation " in *Enzyme systems for lignocellulose degradation*.- Atelier tenu à Galway, Irlande dans le cadres de la Communauté économique européenne Publié par Elsevier Applied Science pp.89-99
- Lemieux, G. & Lapointe R.A. (1985)** "Essais d'induction de la végétation forestière vasculaire par le bois raméal fragmenté". Département des Sciences Forestières, Université Laval, Québec, 109 pages. © ISBN 2-550-21340-8 Publication no. 3226
- Lemieux, G. & Lapointe, R.A. (1986)** "Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol" Département des Sciences Forestières Université Laval, Québec, 17 pages. ©ISBN 2-550-21338-1. Publication no. ER89-1211.
- Lemieux, G. & Lapointe, R.A. (1988)** "L'importance du bois raméal dans la "synthèse" de l'humus" Département des Sciences Forestières, Université Laval, Québec, 29 pages. ©ISBN 2-550-21341-6. Publication no. ER89-1250.
- Lemieux, G. & Lapointe, R.A. (1989)** "La régénération forestière et les bois raméaux fragmentés: observations et hypothèses". Département des Sciences Forestières de

l'Université Laval, Québec, 223 pages. ©ISBN2-550-21342-4. Publication no. ER89-1276.

- Lemieux, G. & Lapointe, R.A. (1990)** "Le bois raméal et la pédogénèse: une influence agricole et forestière directe" Département des Sciences Forestières, Université Laval et Ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts) Québec. 35 pages. ©ISBN 2-550-21267-3. Publication no. ER90-3136
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J.S. & Johnson, N.M. (1977)** «Biogeochemistry of a Forested Ecosystem» Springer-Verlag. N.-Y.
- Martin, W.C., Pierce, R.S., Likens, G.E. & Bormann F.H. (1986)** "Clearcutting Affects Stream Chemistry in the White Mountains of New Hampshire". USDA Northeastern Forest Experiment Station Research Paper NE-579.
- Perry, D.A., Amaranthus. M.P., Borchers, J.G., Borchers, S.L. & Brainerd, R.E. (1989)** "Bootstrapping in Ecosystems" *BioScience* **39** (4): 230-237.
- Routeledge, R.D. (1987)** «The impact of soil degradation on the expected net worth of future timber harvest. *For. Sci.* **33**: 823-834.
- Ryan, D.F. & Bormann, F.H. (1982)** «Nutrient resorption in northern hardwood forests. *Bioscience*, **32**: 29-32.
- Smith, C.T.(1985)** «Literature review and approaches to studying the impacts of forest harvesting and residue management on forest nutrient cycles». Information Report 13. College of Forest Resources, University of Maine, Orono. (
- Vituseck, P.N., Gosz, J.R., Grier, C.C., Mellilo, J.M., Reiners, W.A. & Todd, R.L. (1979)** «Nitrate loss from disturbed ecosystems». *Sciences*, **204**: 469-474.
- Weetman, G.F. & Aalgar, D.(1983)** «Low site-class black spruce and jack pine nutrient removals after full-tree and tree-length logging». *Ca. J. For. Res.* **13**: 1030-1036. (1983).
- Weetman, G.F. & Weber, B.(1972)** «The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands». *Can. J. For. Res.* **2**: 351-369.

This paper, WSI No.3154 (bi.) B-10-ODC 46, was presented at the 71st Annual Meeting of the Woodlands Section, CPPA, in Montréal, March 1990.

type de prélèvement	biomasse	N	P	K	Ca	Mg
Érablière à bouleau jaune et érable rouge (à maturité)						
Grumes	113	159	15	85	256	24
Arbres entiers	155	355	38	183	448	45
Sol; nutriments totaux disponibles	—	5,260	943	12,600	906	1,615
Retombées atmosph.	—	81	37	185	265	117
Ruissellement	—	4	1	2	3	1
		0,3	<0,1	3	15	10
Érablière (perchis)						
Grumes	87	123	11	46	177	16
Arbres entiers	138	365	38	157	384	41
Sol; nutriments totaux	—	9,040	1,420	13,900	1,740	9,240
Nutriments disponibles	—	100	258	199	635	198

Tremblaie à peuplier à grandes dents (à maturité)						
Grumes	41	66	7	53	109	15
Arbres entiers	64	185	22	117	226	32
Sol; nutriments totaux	—	3,930	945	12,000	617	12,000
Nutriments disponibles	—	52	160	205	286	123
Bétulaie blanche à érable rouge (perchis)						
Grumes	55	92	8	35	138	13
Arbres entiers	91	274	30	82	270	27
Sol; nutriments totaux	—	5,800	1,510	11,600	1,590	11,300
Nutriments disponibles	—	58	285	231	402	132
Pessière rouge à sapin (à maturité)						
Grumes	167	192	24	93	278	28
Arbres entiers	224	469	63	221	520	57
Sol; nutriments totaux	—	3,060	632	10,900	457	3,380
Nutriments disponibles	—	31	82	126	197	109
Pessière rouge à sapin (perchis)						
Grumes	106	121	14	55	188	17
Arbres entiers	154	335	44	155	379	41
Sol; nutriments totaux	—	2,570	429	10,000	382	4,630
Nutriments disponibles	—	28	64	115	140	81
Pessière blanche (à maturité)						
Grumes	104	94	16	54	175	19
Arbres entiers	143	263	37	126	340	37
Sol; nutriments totaux	—	5,930	949	30,700	3,740	18,600
Nutriments disponibles	—	103	101	147	303	110
Pessière noire (à maturité)						
Grumes	73	93	10	41	167	14
Arbres entiers	113	240	30	112	314	33
Sol; nutriments totaux	—	3,930	848	14,200	568	5,913
Nutriments disponibles	—	55	144	144	141	79

Tableau no. 1 • Ce sont les quantités de biomasse et de nutriments qui peuvent être exportés par le prélèvement conventionnel des grumes ou des arbres entiers par coupe à blanc dans les types forestiers caractéristiques du centre de la Nouvelle-Écosse. Les données sur le sol font appel aux nutriments "totaux" ainsi qu'aux nutriments "disponibles" tant de la roche-mère que de la partie minérale du sol. Les apports atmosphériques comprennent les retombées sous formes de précipitations ou de poussières. Les données sont modifiées d'après Freedman et al (1986); la biomasse est exprimée en tonnes sèches à l'hectare; les nutriments sont exprimés en kilos de poids sec à l'hectare; les retombées atmosphériques et le ruissellement sont exprimés en kilos à l'hectare par année.

ISBN 2-550-22280--6

Dépôt légal: Bibliothèque Nationale du Québec.

Publication n° 19
novembre 1991
réédité par

Le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Faculté de Foresterie et de Géomatique

Université Laval
Québec G1K 7P4

QUÉBEC
Canada

courriel:

gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca
<http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>
FAX 418-656-2837

tel. 418-656-2131 poste 2837

Deuxième édition 1997

ISBN -2-550-22280-6