Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

La récolte de biomasse forestière : saines pratiques et enjeux écologiques dans la forêt boréale canadienne

Evelyne Thiffault

Amélie St-Laurent Samuel

Rut Serra

Ressources naturelles Canada – Service canadien des forêts

Nature Québec

Fédération québécoise des coopératives forestières

Fédération québécoise des coopératives forestières

Nature Québec
sensible à tous les milieux

Canada

Remerciements

La production de ce document a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Initiative circumboréale du Réseau international des forêts modèles, du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada, de l'Initiative écoÉNERGIE pour l'innovation de Ressources naturelles Canada, de la Fédération des coopératives forestières du Québec, de Nature Québec et du Fonds d'action québécois pour le développement durable.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2015

Fo114-16/2015F
978-0-660-23307-9

Table des matières

Remerciements ii
Liste des figures iv
Liste des tableaux v

1. Introduction 1
   1.1. Qu'est-ce que la biomasse forestière? 1
   1.2. Pourquoi utiliser la biomasse forestière? 2
   1.3. Pourquoi utiliser la biomasse avec prudence? 3
   1.4. Le guide 3

2. Les enjeux de la récolte de biomasse 3
   2.1. La biodiversité 5
   2.2. L'eau et les zones riveraines 7
   2.3. La productivité du sol 9
      2.3.1. La matière organique 9
      2.3.2. L'azote 9
      2.3.3. Le phosphore 10
      2.3.4. Les cations basiques 11
   2.4. La productivité du peuplement 13
   2.5. Les émissions de CO_2 17

3. Encadrement des pratiques de récolte de biomasse dans le monde 24
   3.1. Des lignes directrices 25
      3.1.1. L'aménagement forestier adaptatif 25
      3.1.2. Des recommandations et des gradients 26
   3.2. Des recommandations et des gradients selon les enjeux 28
      3.2.1. La biodiversité 28
      3.2.2. L'eau et les zones riveraines 30
      3.2.3. La productivité du sol 30
      3.2.4. La productivité du peuplement 31
      3.2.5. Les émissions de CO_2 31
   3.3. La certification 33

4. Conclusion 36

5. Bibliographie 37

Annexe 1 : Recommandations sur la récolte de biomasse par les différentes juridictions 47
Biodiversité et bois mort 47
Protection de la qualité de l'eau et des zones riveraines 55
Maintien de la productivité du sol et du site 61
Maintien d'une productivité à long terme grâce à une sylviculture appropriée 67

Annexe 2 : Gradients de sensibilité des sols développés par différentes juridictions 71

Annexe 3 : Recommandations pour assurer la productivité du sol : exemple pour le Québec 77
1. Les sols minces 77
2. Les pentes fortes 78
3. Les sols à texture très grossière et grossière 78
4. Les sites à drainage excessif 83
5. Sites acides et peu fertiles 86

Annexe 4 : Clé de texture des sols 87

Liste des figures

Figure 1. Classification des combustibles tirés du bois 2
Figure 2. Enjeux de la récolte de biomasse forestière. 4
Figure 3. Gradient de sensibilité des sites forestiers à la récolte de biomasse. 5
Figure 4. Gradient de sensibilité de la biodiversité (oiseaux et invertébrés). 6
Figure 5. Gradient de sensibilité de la biodiversité (champignons polypores). 7
Figure 6. Gradient de sensibilité basé sur le contenu en matière organique (MO) ou la texture du sol. 10
Figure 7. Gradient de sensibilité basé sur la capacité du sol à fournir du phosphore. 11
Figure 8. Gradient de sensibilité basé sur le contenu minéralogique du sol en cations basiques. 12
Figure 9. Microsite d'un plant. 13
Figure 10. Gradient de sensibilité basé sur le climat. 15
Figure 11. Gradient de sensibilité basé sur le microclimat. 16
Figure 12. Gradient de sensibilité basé sur la sensibilité des espèces à la disponibilité en éléments nutritifs. 18
Figure 13. Schéma simplifié du bilan carbone en milieu forestier (cycle de vie du carbone) 19
Figure 14. Gradient de sensibilité basé sur les bénéfices à court, moyen et long termes des sources de biomasse. 21
Figure 15. Gradient de sensibilité basé sur le mode de conversion de la biomasse en énergie. 22
Figure 16. Aménagement forestier adaptatif. 25
Figure 17. Gradient de sensibilité et types de récolte 27
Figure 18. Esker à cœur graveleux 79
Figure 19. Matériel d'une terrasse de kame 79
Figure 20. Till 80

Figure 21. Matériel d'épandage fluvioglaciaire 80
Figure 22. Dune 81
Figure 23. Cœur d'une moraine 82
Figure 24. *Comptonia* – Comptonie 85
Figure 25. *Cladina* spp. – Lichens à caribous/lichens des caribous 85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classement des amas de rémanents selon leur taille 17
Tableau 2 : Exemples de temps de remboursement de la dette de carbone en rapport avec les principaux paramètres des projets 24
Tableau 3 : Lignes directrices générales pour la rétention des structures forestières 29
Tableau 4 : Objectifs pour les structures forestières 29
Tableau 5 : Espèces indicatrices de sites secs et pauvres 84

1. Introduction

Malgré son essor relativement récent, l'utilisation de la biomasse forestière pour la production d'énergie est loin de constituer un phénomène nouveau. En effet, le bois a toujours été utilisé à cette fin bien qu'il ait perdu sa place prépondérante pendant la révolution industrielle lorsqu'il a été remplacé par les combustibles fossiles (Kerr, 2010).

1.1. Qu'est-ce que la biomasse forestière?

La biomasse est, par définition, la masse du vivant. Elle peut être tirée des produits de la forêt et de l'agriculture, de même que des déchets (Environmental European Agency, 2006). Pour les pays circumboréaux comme le Canada, la biomasse forestière constitue une source d'énergie particulièrement intéressante, car il s'agit d'une ressource qui est abondante.

La forêt peut produire de l'énergie pour des usages industriels, commerciaux et domestiques grâce à la conversion de la biomasse ligneuse en combustibles solides, liquides ou gazeux (Hall, 2002). Le terme « biomasse forestière » inclut (i) les résidus forestiers primaires générés pendant les opérations forestières conventionnelles comme la préparation du site, les coupes de récupération, les éclaircies et les coupes finales; (ii) les résidus forestiers secondaires produits pendant les processus industriels de transformation du bois; (iii) les résidus tertiaires qui proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition et enfin (iv) le bois de feu traditionnel (Figure 1) (Röser et coll., 2008). Les résidus primaires provenant des forêts tempérées et boréales constituent actuellement la plus grande source d'approvisionnement pour la bioénergie. Plus particulièrement, les résidus de coupe produits par les coupes finales (souvent les coupes totales) constituent une source accessible et potentiellement profitable de biomasse forestière. De façon plus concrète, nous parlons ici des houppiers et des branches des arbres récoltés dont le tronc est destiné à la transformation. C'est de cette catégorie de biomasse forestière dont il sera surtout question dans ce guide.

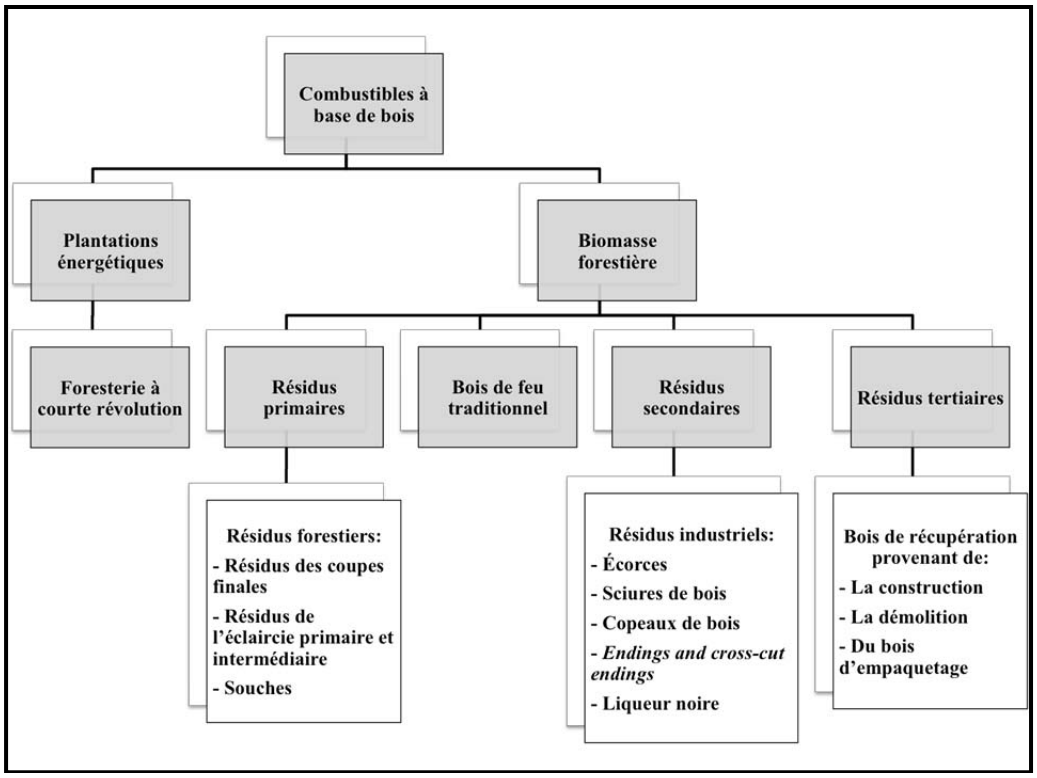


Figure 1. Classification des combustibles tirés du bois (tirée de Röser et coll., 2008).

1.2. Pourquoi utiliser la biomasse forestière?

L'utilisation de la biomasse forestière est associée à de multiples avantages. Elle répond à des enjeux liés à l'augmentation du prix des combustibles fossiles, aux préoccupations environnementales émanant de l'utilisation de ces derniers, de même qu'à la sécurité et à la diversité de l'approvisionnement en énergie (Van Dam et coll., 2008).

Un des avantages les plus importants de l'utilisation de la biomasse forestière tient au fait qu'elle peut contribuer à la diminution des gaz à effet de serre et, ainsi, à l'atténuation du réchauffement global, grâce à la substitution des combustibles fossiles dans un cadre de production d'énergie. Cet avantage a été reconnu par le Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat (GIEC) (Nabuurs et coll., 2007). En effet, la bioénergie tirée de la forêt est renouvelable. On la qualifie souvent de « carbone-neutre », parce que la forêt séquestre du carbone atmosphérique pendant sa période de croissance, le relâche lorsque le bois récolté est transformé en bioénergie et le séquestre à nouveau par le biais de la croissance de la régénération après coupe. Toutefois, le terme « carbone-neutre » n'est pas approprié, comme le montre la littérature sur le sujet (Haberl et coll., 2012). Néanmoins, les modèles de bilan de carbone qui tiennent compte de la dynamique des émissions en forêt montrent que la biomasse forestière procure, éventuellement, des bénéfices en termes de réduction des émissions de CO_2 par rapport aux carburants fossiles. Ces bénéfices sont d'autant plus importants et rapides dans le cas de l'utilisation des résidus de coupe pour la production d'énergie. Il serait donc plus juste de parler d'une forme d'énergie à faibles émissions de carbone. Toutefois, la bioénergie tirée de la biomasse forestière demeure très avantageuse par rapport aux combustibles fossiles.

1.3. Pourquoi utiliser la biomasse avec prudence?

En Amérique du Nord, trois facteurs ont historiquement freiné l'utilisation des résidus forestiers pour la production d'énergie : des technologies de combustion déficientes, des problèmes liés aux opérations de récolte des résidus et le manque de connaissances en ce qui a trait aux impacts de cette pratique sur les sites de récolte, notamment sur la biodiversité, la productivité des sols et la santé des forêts (Hacker, 2005).

De même, de façon plus générale, une augmentation de la demande pour la biomasse forestière, et donc de son prélèvement sur le territoire, peut entraîner des conflits avec les autres valeurs et fonctions de la forêt. Par exemple, pour un site donné, les résidus de coupe peuvent servir à la protection physique des sols contre l'orniérage et au maintien des stocks d'éléments nutritifs, ce qui n'est pas possible s'ils sont récupérés pour la production de bioénergie. Cette situation rend donc essentielle l'analyse de compromis pour équilibrer les différents usages (Stupak et coll., 2007; Benjamin, 2010).

1.4. Le guide

Le présent guide résume l'état des principales connaissances, actuellement disponibles sur les impacts potentiels de la récolte de biomasse forestière, et plus particulièrement de la récolte des résidus de coupe totale (branches et houppiers) sur l'écosystème forestier. L'information y est présentée selon les principaux enjeux écologiques associés à ces pratiques en forêt boréale. Les lignes directrices élaborées par différentes juridictions pour répondre aux impacts attendus sont aussi étudiées. Enfin, des recommandations pour assurer une récolte durable de la biomasse forestière dans le contexte des forêts canadiennes et québécoises sont formulées.

2. Les enjeux de la récolte de biomasse

Les cinq principaux enjeux de la récolte de biomasse forestière sont la biodiversité, l'eau et les zones riveraines, la productivité des sols, la productivité du peuplement et les émissions de CO_2 (bilan carbone). Chacun de ces enjeux est lié à des impacts potentiels du prélèvement des résidus forestiers qui peuvent s'exprimer sous la forme de gradients de sensibilité. Ainsi, la sensibilité de la biodiversité (p. ex., l'abondance et la diversité des oiseaux et des invertébrés) dépend majoritairement de la quantité, de la qualité et de la répartition spatiale du bois mort laissé en forêt. Pour sa part, la sensibilité de la productivité des sols est principalement fonction de la texture du sol, de son contenu en matière organique, de sa capacité à fournir du phosphore et de son contenu minéralogique en cations basiques. La sensibilité de la productivité du peuplement est liée à la physiologie des espèces, au climat et au microclimat du site. La récolte de la biomasse affecte aussi l'eau et les zones riveraines par ses effets sur la sédimentation, la concentration en éléments nutritifs, la température des cours d'eau et l'apport en eau; par contre, la disponibilité limitée des informations à ce sujet a empêché le développement de gradients de sensibilité pour cet enjeu. Enfin, la récolte de la biomasse entraîne l'émission de CO_2 issu principalement des différentes opérations de récolte, de transport, d'entreposage et de la combustion de la biomasse forestière. Cet enjeu est mesuré par la quantité de carbone (C) émis à l'atmosphère.

Les enjeux liés à la récolte de biomasse forestière peuvent être classés en cinq catégories : biodiversité, eau et zones riveraines, productivité des sols, productivité des peuplements et émissions de carbone (CO_2) (Figure 2). Il faut cependant noter que ce classement n'est pas définitif. Par exemple, des enjeux liés à la protection des sols, comme l'érosion, influencent également certains des aspects de la qualité de l'eau.

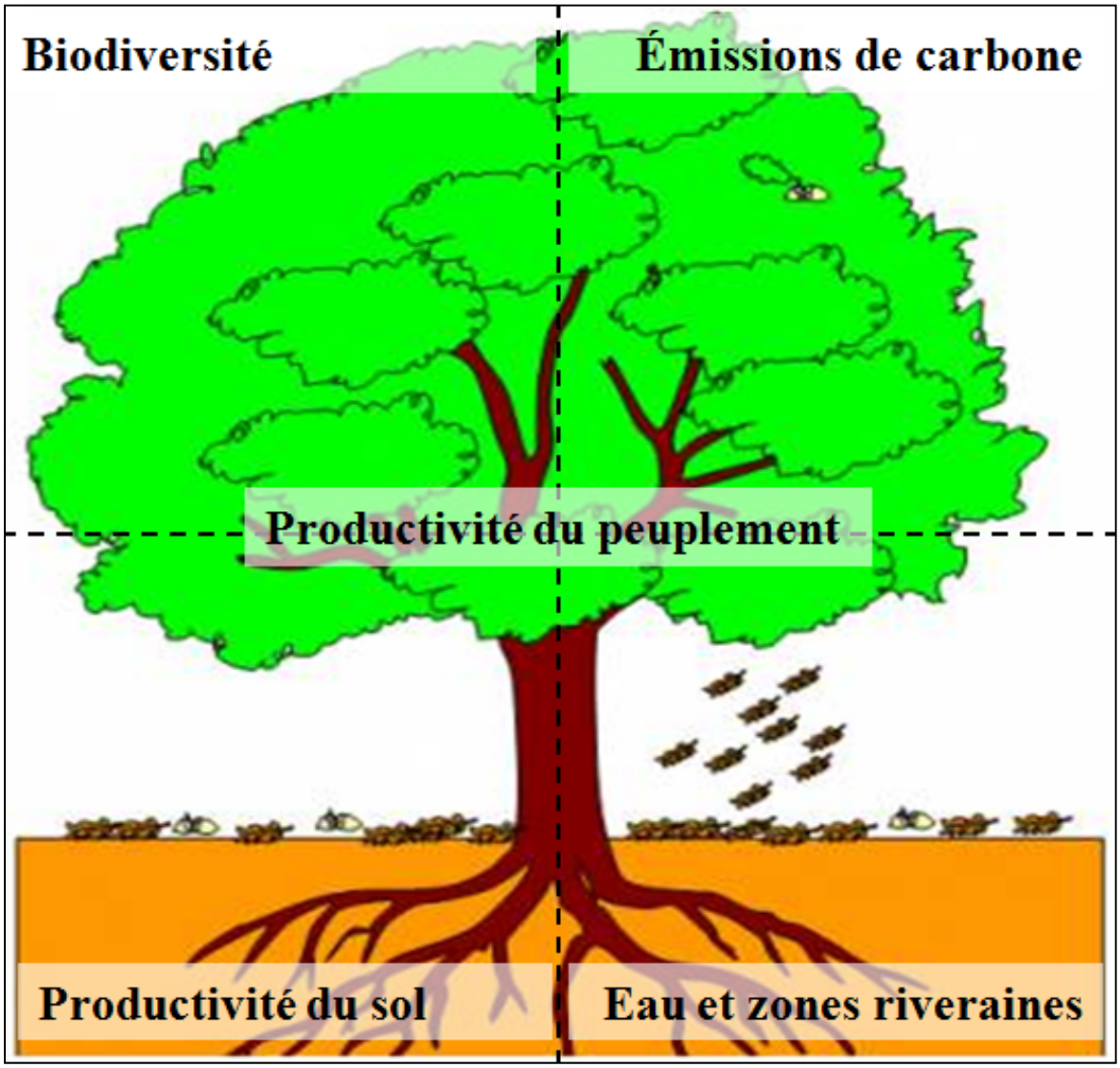


Figure 2. Enjeux de la récolte de biomasse forestière.

Dans cette partie, la littérature scientifique disponible est résumée et les impacts potentiels de la récolte de biomasse sont identifiés pour chaque enjeu. De plus, l'information est synthétisée de manière à identifier *la sensibilité des sites à la récolte de biomasse*, c'est-à-dire les caractéristiques des sites forestiers pour lesquelles la récolte exerce une pression supplémentaire par rapport à la récolte conventionnelle du tronc seulement (Figure 3).

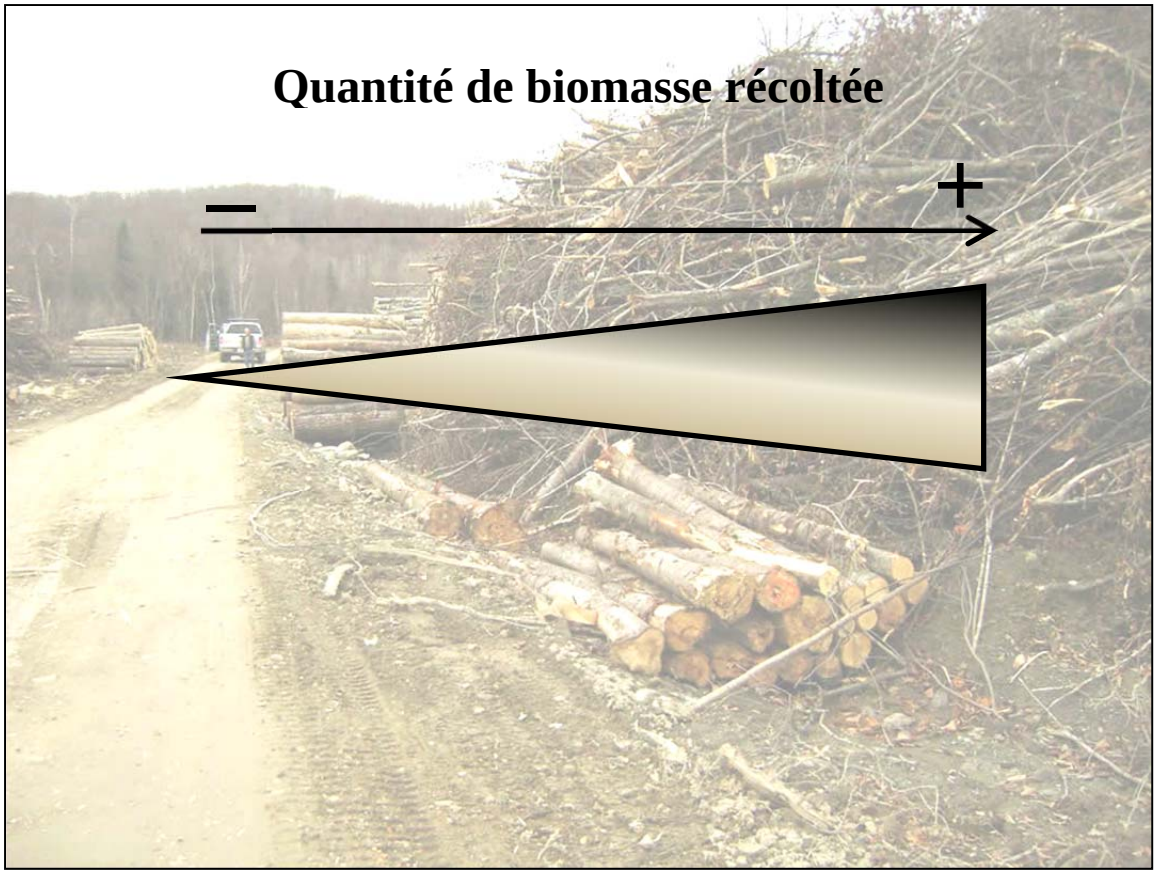


Figure 3. Gradient de sensibilité des sites forestiers à la récolte de biomasse.

2.1. La biodiversité

Les connaissances scientifiques acquises sur l'impact du prélèvement de la biomasse forestière sur la biodiversité sont très limitées en comparaison de la vaste littérature généralement disponible au sujet de la diversité biologique (Stewart et coll., 2010). Peu d'études traitent spécifiquement des effets de la récolte des résidus forestiers. L'Europe a une plus longue histoire par rapport à l'aménagement intensif des forêts que l'Amérique du Nord; les études de l'impact du prélèvement de la biomasse sur la biodiversité y sont donc plus nombreuses (Berch et coll., 2011). Par contre, ce contexte d'aménagement plus intensif peut faire en sorte que les résultats de recherche ne soient pas applicables au contexte canadien, puisque l'état et le niveau de biodiversité initiaux des forêts diffèrent.

Le bois mort est un aspect typique et un facteur clé en ce qui concerne la richesse en espèces des forêts naturelles (Schuck et coll., 2004). On considère que les débris ligneux sont indispensables pour combler les fonctions essentielles d'une variété d'organismes, en leur permettant de se reproduire, de se nourrir et de s'abriter (Riffell et coll., 2011). Ainsi, des chercheurs américains ont effectué une méta-analyse portant sur les effets du prélèvement à grande échelle des débris ligneux grossiers sur la biodiversité (Riffell et coll., 2011). En compilant les résultats de 26 études sur le sujet, ils ont pu découvrir que la diversité et l'abondance des oiseaux et des invertébrés étaient moins élevées dans les traitements où une plus petite quantité de débris

ligneux grossiers au sol ou de chicots sur pied est laissée en place (Figure 4). Par contre, une étude réalisée au Québec au sein d'un peuplement mature de sapins baumiers en forêt boréale a montré qu'à court terme (1 an), la coupe en soi, peu importe l'intensité de récolte et la quantité de débris laissés au sol, était le facteur principal expliquant l'abondance des scarabées (Work et coll., 2013). Quelques différences ont été notées dans la composition en espèces entre la récolte du tronc seulement et la récolte plus intensive du tronc, des branches et des houppiers, mais l'impact réel de ces différences sur le fonctionnement de l'écosystème reste à déterminer. De plus, concernant les mammifères, les reptiles et les amphibiens, Riffell et coll. (2011) n'ont pas pu prouver que ces derniers seraient affectés par la manipulation des débris grossiers ligneux au sol et les chicots laissés sur pied.

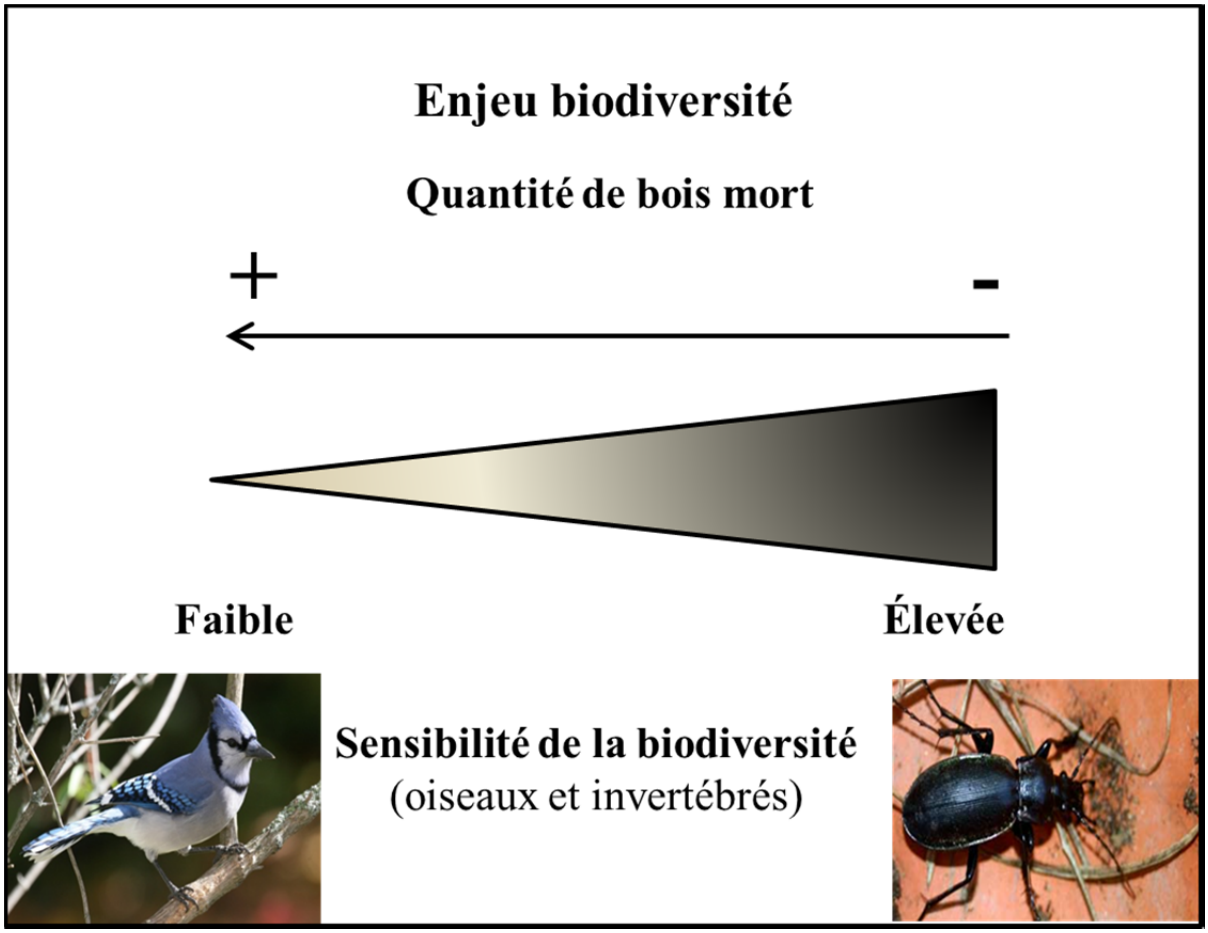


Figure 4. Gradient de sensibilité de la biodiversité (oiseaux et invertébrés).

Par ailleurs, les champignons polypores utilisent le bois comme hôte pour leur propre développement. Ainsi, une réduction de la quantité et de la qualité des débris ligneux peut avoir un effet adverse sur leur abondance et leur diversité. À long terme, cela pourrait entraîner la disparition d'espèces menacées qui jouent un rôle fondamental dans la préservation des écosystèmes forestiers (Toivanen et coll., 2012). À titre d'exemple, une étude réalisée sur des forêts de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) au Minnesota a révélé que la fréquence de polypores était plus importante en présence de bois mort ayant un diamètre inférieur à 5 cm (Brazee et coll., 2012). Partant de ce fait, il est nécessaire de prendre en considération non

seulement les débris ligneux grossiers, mais aussi les débris ligneux fins lors du prélèvement de biomasse (Juutilainen et coll., 2011).

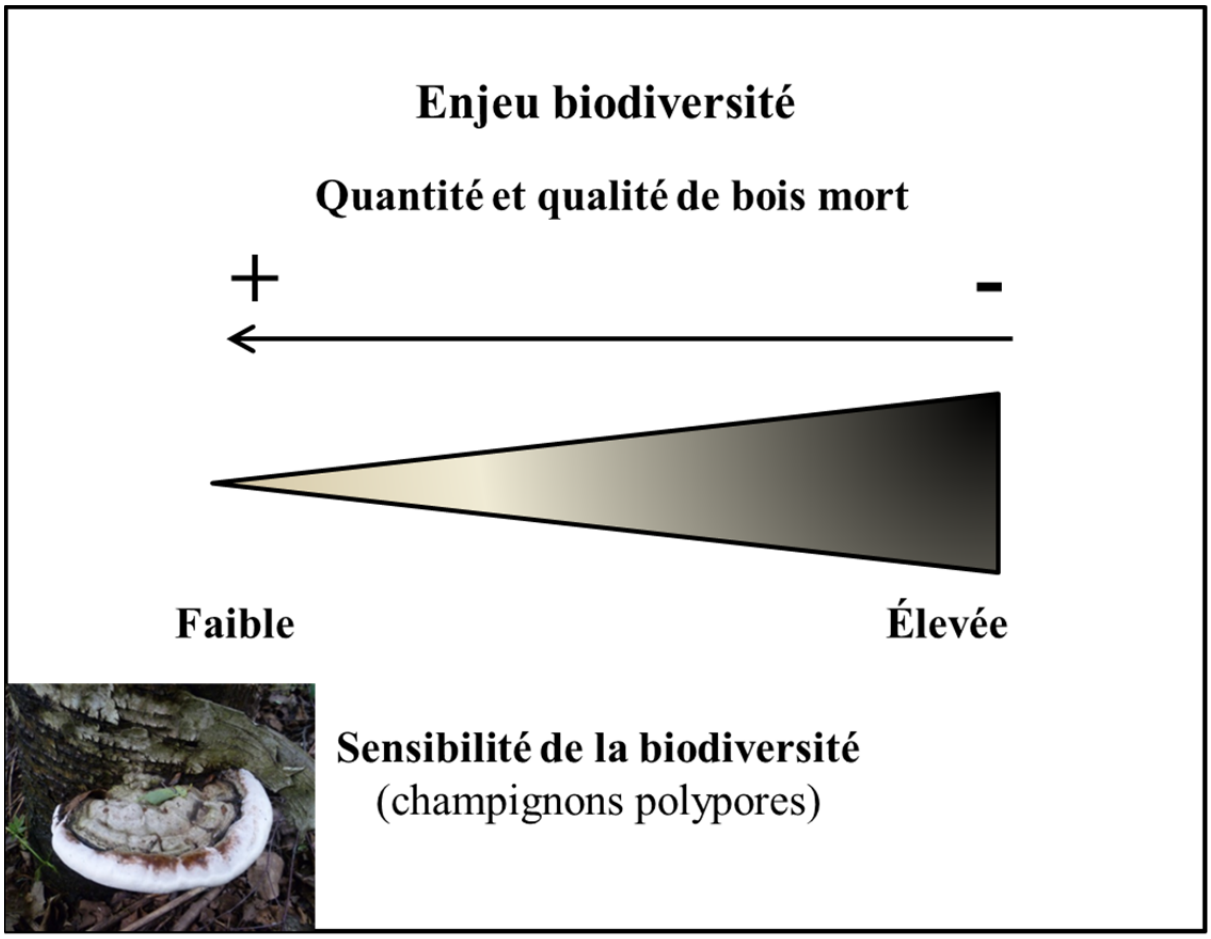


Figure 5. Gradient de sensibilité de la biodiversité (champignons polypores).

Très peu de recherches ont jusqu'à maintenant réussi à établir des cibles de rétention du bois mort pour la récolte forestière dans une optique de maintien de la biodiversité. Quelques études proposent des cibles précises pour la récolte forestière qui se traduisent par des quantités de bois mort à conserver. Néanmoins, elles n'intègrent pas l'arrangement spatial, l'espèce et le taux de décomposition du bois, des éléments qui sont pourtant identifiés dans ces études comme étant tout aussi importants pour atteindre l'objectif de conservation de la diversité écologique (Stewart et coll., 2010).

2.2. L'eau et les zones riveraines

Puisque le sol et les eaux de surface sont étroitement liés par différents processus, les opérations forestières effectuées dans les écosystèmes terrestres peuvent avoir des conséquences sur les écosystèmes aquatiques, et particulièrement sur la qualité et l'écologie des cours d'eau (Laudon *et coll.,* 2011). Les perturbations causées par l'aménagement forestier peuvent toucher l'écoulement de l'eau, ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des cours

d'eau (Janowiak et Webster, 2010). Bien que les impacts des activités forestières sur cette ressource aient fait l'objet de nombreux efforts de recherche à travers le temps, encore peu d'entre eux ont été consacrés à étudier les impacts spécifiques du prélèvement des résidus de coupe. Les effets de cette pratique sur la qualité de l'eau à l'échelle du paysage sont donc encore peu connus (Laudon et coll., 2011), mais ils sont généralement considérés comme pouvant être similaires aux impacts d'autres régimes intensifs de récolte forestière (Stewart et coll., 2010).

Quatre types d'impacts potentiels de la récolte de biomasse sur la ressource en eau peuvent être identifiés : la sédimentation, les concentrations en éléments nutritifs, la température de l'eau et l'apport en eau vers les cours d'eau (Stewart et coll., 2010).

Le rapport de Buttle et Murray (2011), *Hydrological Implications of Forest Biomass Use*, apporte de l'information supplémentaire sur le sujet. Selon leurs recherches, le prélèvement des résidus de coupe aurait peu d'impact sur la teneur en humidité des sols des sites où ont eu lieu des coupes totales. En effet, d'une part, la biomasse intercepterait les précipitations, ce qui diminuerait les précipitations nettes à la surface du sol. D'autre part, la présence de résidus préviendrait l'augmentation de la température du sol en diminuant les radiations solaires et la vitesse du vent, ce qui réduirait globalement l'évaporation à la surface du sol. Les études sur le terrain montrent que l'effet des résidus sur la quantité d'eau dans le sol est souvent faible ou inexistant (Zabowski et coll., 2000; Trottier-Picard et coll., 2014).

La présence de résidus pourrait avoir un impact sur la quantité de neige présente sur un site, ainsi que sur son rythme de fonte au printemps. Ainsi, la présence de biomasse contribuerait à retenir plus de neige sur les sites, et donc à augmenter les quantités d'eau (infiltration et ruissellement) pendant la période de fonte au printemps. De plus, les résidus contribueraient à l'augmentation du rythme de fonte de la neige. Globalement, l'effet combiné de plus importantes quantités de neige et de leur fonte plus rapide au printemps causerait une plus grande infiltration d'eau dans le sol et donc des apports accrus d'eau vers les cours d'eau (Buttle et Murray, 2011). En ce sens, la récolte de biomasse contribuerait à la régulation du débit des cours d'eau.

Par ailleurs, la présence de biomasse forestière sur un parterre de coupe pourrait freiner le ruissellement de surface et ainsi réduire l'érosion du sol minéral, ce qui entraînerait une diminution du transport de sédiments en provenance des pentes vers les cours d'eau (Buttle et Murray, 2011; Stewart et coll., 2010).

L'ombrage apporté au cours d'eau par les débris ligneux permettrait aussi de modérer les fortes augmentations de la température moyenne de l'eau (Jackson et coll., 2001). Lorsque les résidus ligneux sont prélevés sur les sites où les bandes riveraines ne sont pas maintenues, il y aurait risque d'augmentation de la turbidité des cours d'eau (Hornbeck et coll., 1986). De même, le prélèvement des résidus pourrait diminuer les fonctions de régulation de l'écoulement et de la filtration de l'eau rendues possibles grâce à la présence de bois mort et de résidus de coupe sur le site (Environmental European Agency 2006).

En résumé, la récolte des résidus de coupe représente des risques potentiels quant à la qualité de l'eau et des zones riveraines. Cependant, très peu d'études empiriques viennent confirmer ces risques. Nous en sommes donc encore largement au stade des hypothèses quant aux impacts réels de la récolte de biomasse sur l'eau et les zones riveraines.

2.3. La productivité du sol

La récolte de biomasse forestière peut avoir un impact sur la productivité du sol. Un des effets théoriques attendus de la récolte de biomasse forestière sur le sol est une diminution de son contenu en matière organique et en éléments nutritifs, soit l'azote (N), le phosphore (P) et les cations basiques tels le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). En effet, l'exportation de biomasse hors du site diminue la quantité de matériel qui retourne au sol par rapport à la récolte traditionnelle du tronc seulement. Par contre, les mécanismes par lesquels la récolte de biomasse influence la fertilité des sols semblent plus complexes que la simple exportation de matière organique et d'éléments nutritifs (Thiffault et coll., 2011).

2.3.1. La matière organique

La quantité de matière organique dans un sol influence sa capacité de retenir l'eau et les éléments nutritifs. Bien que la récolte des résidus prive le sol d'une source de matériel organique, dans les faits, les études sur le terrain ont démontré que la récolte de biomasse n'a que peu ou pas d'impact sur le carbone du sol (Brandtberg et Olsson, 2012; Klockow et coll., 2013), sauf sur les sols à texture très sableuse et grossière, dont le contenu en matière organique est faible (Thiffault et coll., 2011). Les sols sableux à texture grossière ou à faible contenu en matière organique sont donc considérés comme sensibles à la récolte de biomasse (Page-Dumroese et coll., 2010).

2.3.2. L'azote

Comme pour le carbone, l'effet observé sur le terrain du prélèvement de résidus forestiers sur les réservoirs d'azote du sol ne montre pas de tendance nette (Brandtberg et Olsson, 2012; Klockow et coll., 2013). Bien que des effets clairs de réduction des stocks d'azote dans le sol n'aient pas été démontrés, il semble que la récolte des résidus pourrait influencer les mécanismes de cyclage de l'azote entre le sol et la végétation, nuisant ainsi à la nutrition des arbres en azote (Thiffault et coll., 2011), et à la capacité des sites forestiers à fixer l'azote atmosphérique. À titre d'exemple, l'étude de Wilhelm et coll. (2013) suggère que le prélèvement de débris ligneux dans des peuplements dominés par des chênes sur des sols sableux au Wisconsin entraîne une diminution du taux d'accumulation d'azote dans les sols. Par contre, en raison de la nature fragmentaire de l'information scientifique disponible, il n'est pas possible d'établir un gradient de sensibilité des sites lié à l'azote du sol.

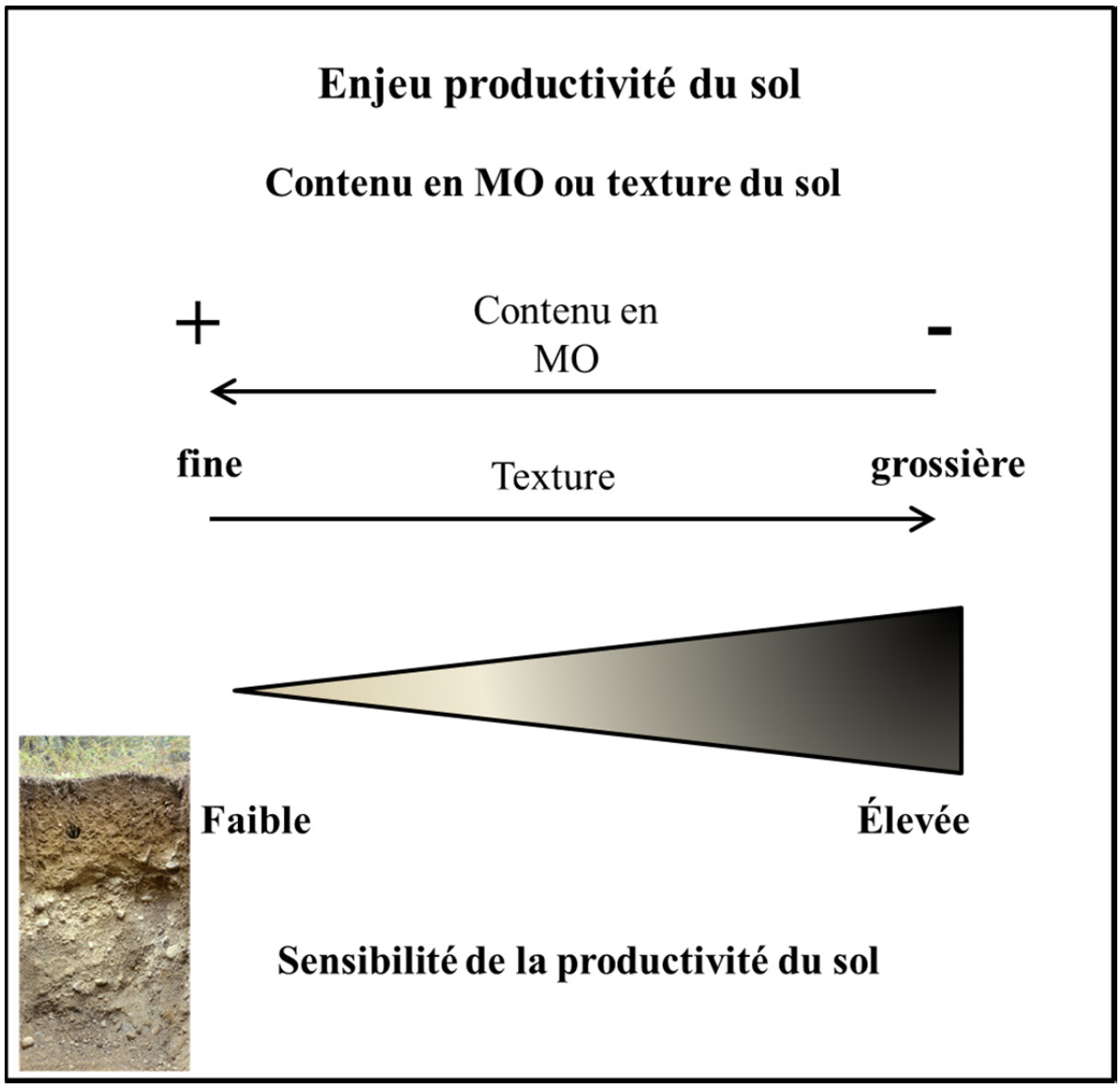


Figure 6. Gradient de sensibilité basé sur le contenu en matière organique (MO) ou la texture du sol.

2.3.3. Le phosphore

La récolte de biomasse forestière peut avoir un effet significatif sur les réserves en phosphore du sol. Par exemple, le prélèvement de résidus de coupe dans les peuplements de pins situés sur des sols très altérés dans le sud des États-Unis a entraîné une réduction du phosphore et a nui à la croissance des pins (Scott et coll., 2004; Scott et Dean, 2006). Toutefois, ce risque est probablement limité à des régions géographiques où les sols sont particulièrement pauvres en phosphore (sud des États-Unis) ou encore à des sites particuliers tels que les anciennes terres agricoles.

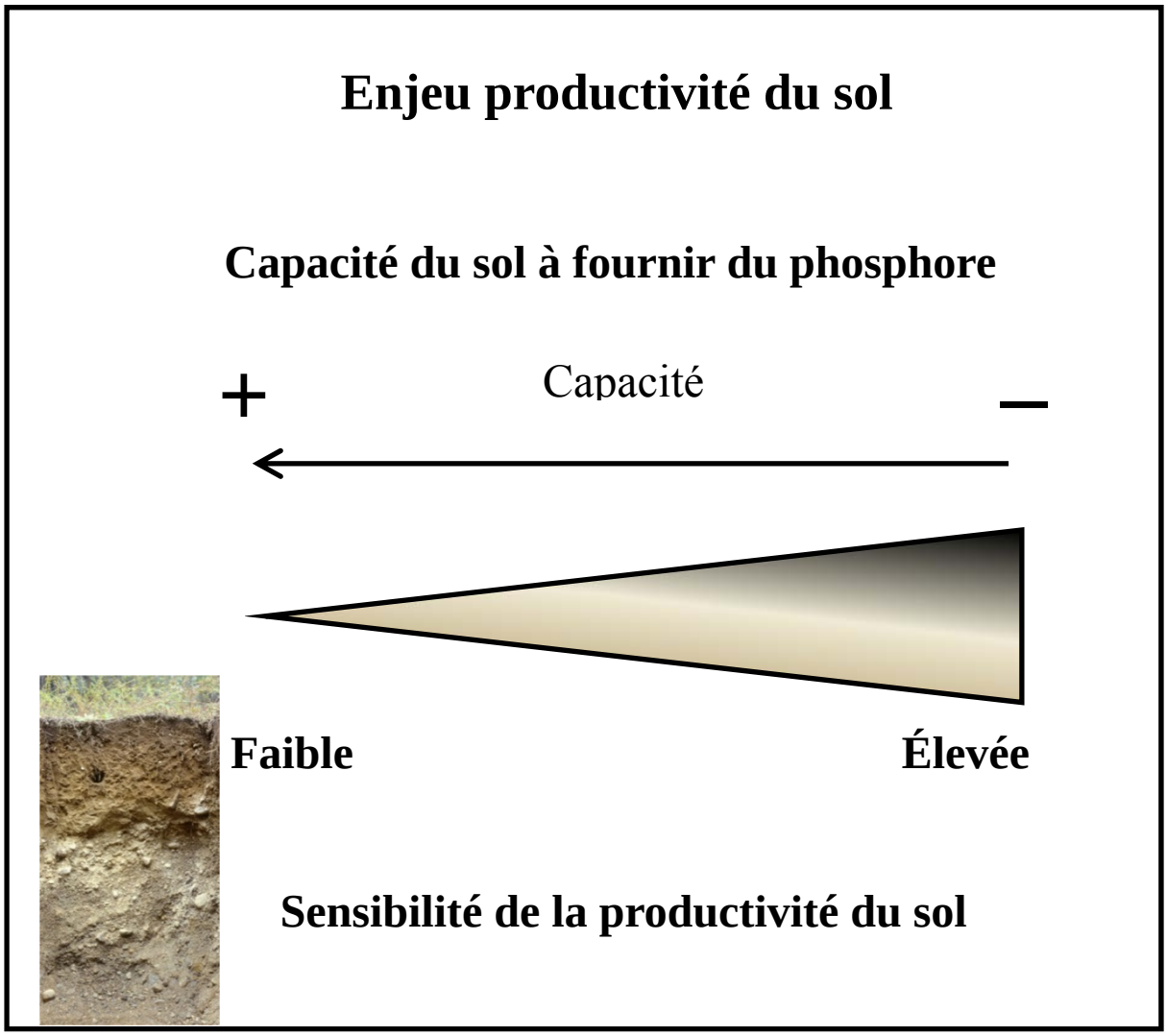


Figure 7. Gradient de sensibilité basé sur la capacité du sol à fournir du phosphore.

2.3.4. Les cations basiques

La récolte de biomasse forestière influence également les réserves de cations basiques du sol (Ca, Mg, K). Cette pratique peut contribuer à diminuer la disponibilité des cations basiques, particulièrement pour les sols pauvres qui en contiennent peu dans leur minéralogie. Par contre, cela se traduit rarement par une perte de croissance des arbres, mais peut possiblement diminuer leur vigueur et augmenter leur susceptibilité aux stress environnementaux comme la sécheresse ou le gel (Figure 8) (McLaughlin et Wimmer, 1999; DeHayes et coll., 1999; Schaberg et coll., 2001).

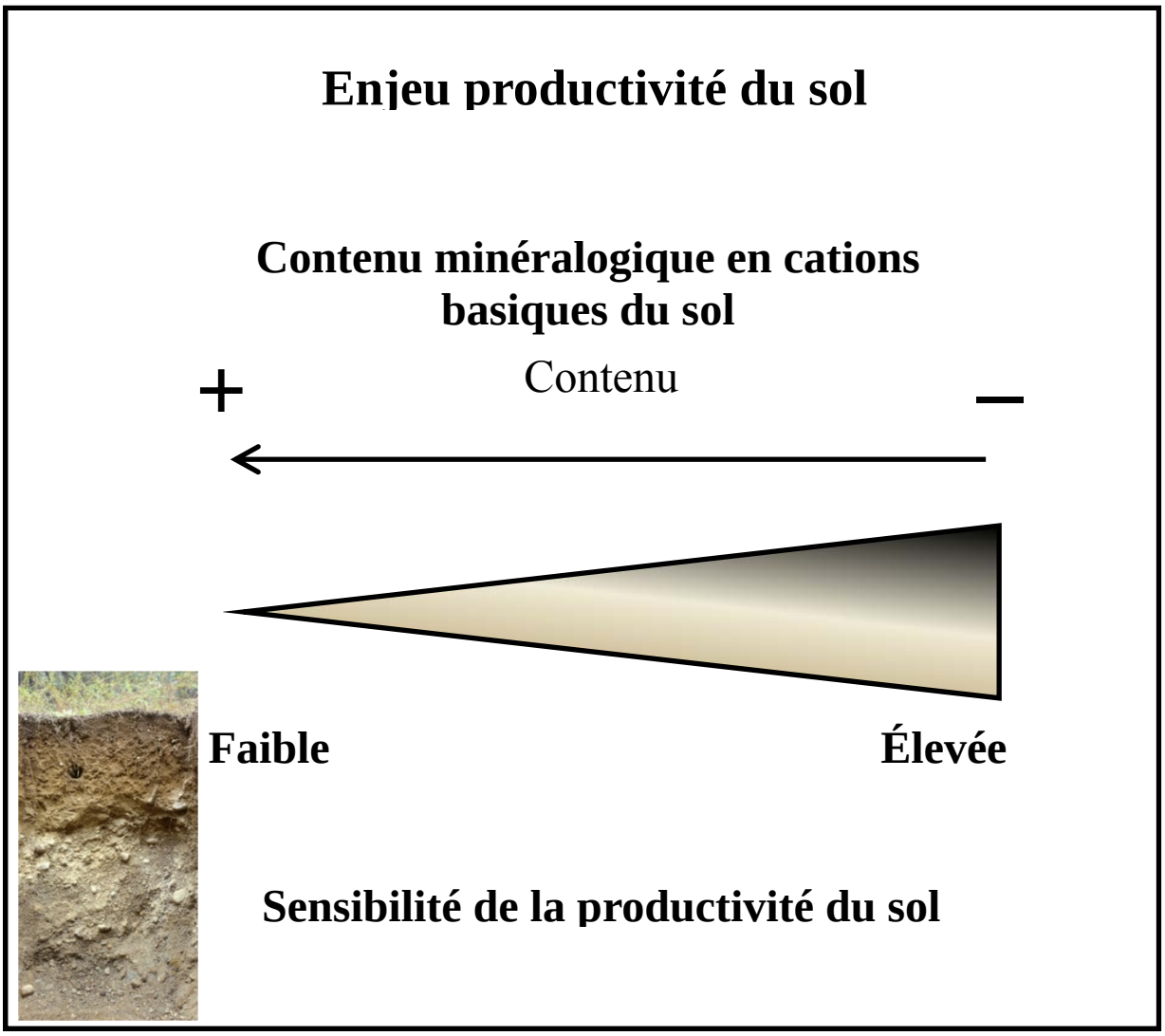


Figure 8. Gradient de sensibilité basé sur le contenu minéralogique du sol en cations basiques.

La croissance des forêts cause une acidification naturelle des sols, car les arbres prélèvent une plus grande quantité de cations que d'anions, ce qui entraîne un relâchement de H+ dans la solution du sol par les racines (Nilsson et coll., 1982; van Breemen et coll., 1983). Toutefois, la récolte forestière empêche le rééquilibrage naturel de ce phénomène, car elle prive le sol de façon permanente d'une grande quantité de cations basiques accumulés dans la végétation qui lui aurait été retournée lors de la décomposition du matériel organique. Ce phénomène pourrait être préoccupant dans les régions qui reçoivent des taux élevés de pluies acides, comme le démontrent les modèles théoriques d'acidification des sols, puisqu'elles sont déjà vulnérables. Par contre, dans les faits, les études sur le terrain montrent que la récolte de biomasse a un effet acidifiant beaucoup moins grand que celui prédit par les modèles théoriques (Thiffault et coll., 2011).

2.4. La productivité du peuplement

Les effets de la récolte des résidus sur la croissance des arbres et sur la productivité des peuplements sont particulièrement complexes. En effet, les résidus influencent à la fois le microclimat, les éléments nutritifs, la disponibilité de l'eau et la végétation qui peuvent tous jouer des rôles significatifs au niveau de la productivité du peuplement. Les facteurs limitant la croissance des arbres dépendent aussi grandement des conditions des sites (macroclimat, topographie et type de sol) et des caractéristiques des espèces, deux éléments qui varient dans le temps avec l'évolution du peuplement. C'est pourquoi il y a des variations considérables entre les études à propos de la croissance des arbres face aux traitements de récolte (Thiffault et coll., 2011).

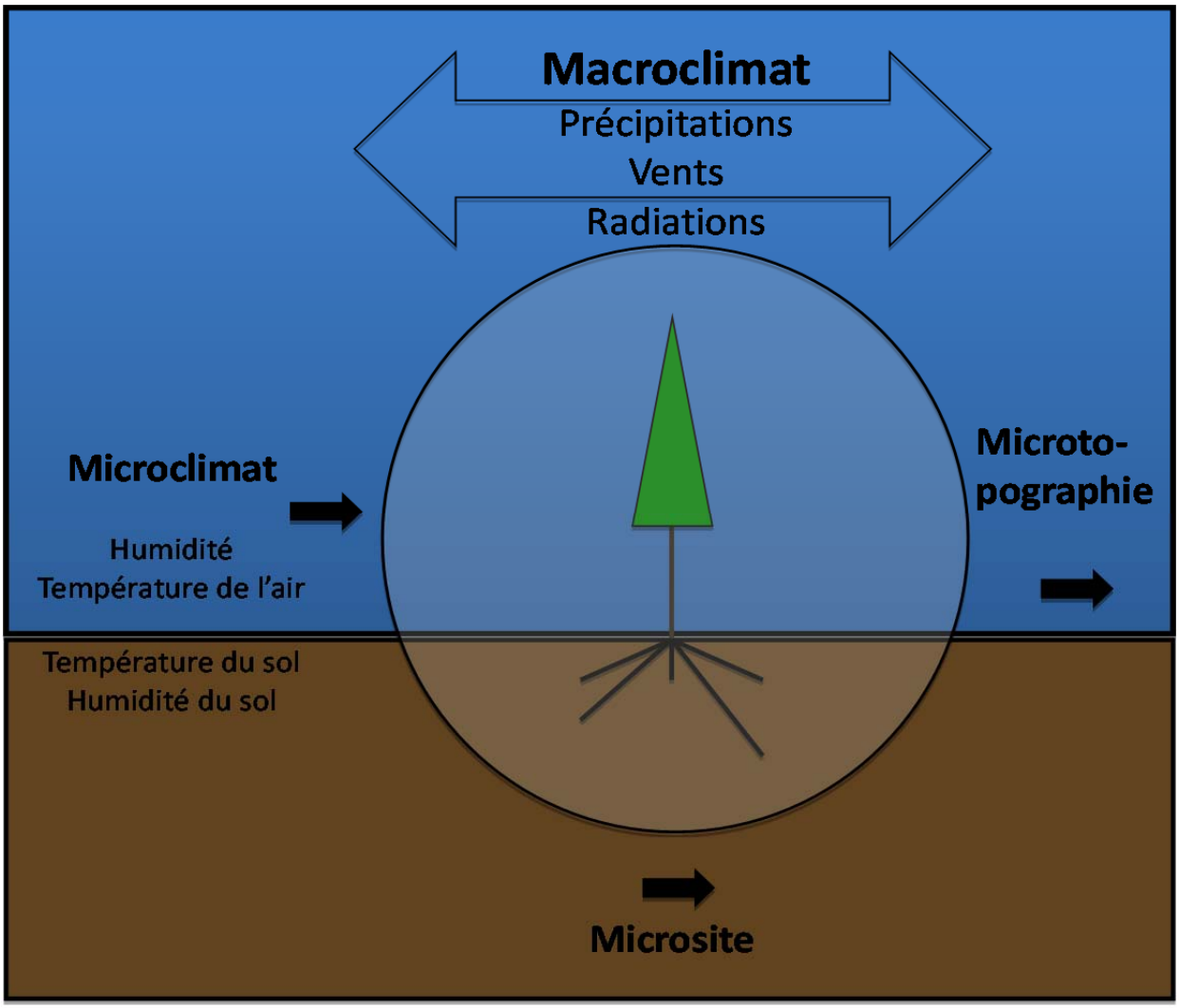


Figure 9. Microsite d'un plant.

Les différentes conséquences de la récolte des résidus sur la croissance des arbres et la productivité des peuplements sont liées, d'une part, aux conditions microclimatiques créées par ce type de pratique et, d'autre part, à son effet sur la disponibilité en éléments nutritifs (Thiffault et coll., 2011). En effet, dans les premières années suivant la récolte de biomasse, les conditions microclimatiques et la compétition avec la végétation sont les facteurs qui influenceraient le plus la croissance des arbres et la productivité des peuplements (Proe et coll., 1999). Toutefois, lorsque les peuplements approchent du stade de fermeture du couvert forestier, les arbres développent des besoins plus importants en eau et en éléments nutritifs, d'où l'idée que la fertilité du sol deviendrait le facteur prédominant nuisant à leur croissance (Thiffault et coll., 2011).

La récolte des résidus de coupe influence de plusieurs façons le microclimat et la végétation compétitrice, qui, à leur tour, ont un effet sur la croissance des arbres et la productivité du site. Cette récolte entraîne des perturbations et un brassage du sol qui peuvent favoriser l'établissement de la régénération naturelle, créer de meilleures conditions de reboisement (Mann, 1984; Hendrickson, 1988; McInnis et Roberts, 1994; Waters et coll., 2004; Fleming et coll., 2006) et augmenter le taux de survie et de croissance des jeunes semis (Morris et Miller, 1994). De plus, l'absence de résidus au sol fait en sorte que la surface est exposée à une plus grande radiation solaire ainsi qu'à une quantité de pluie plus abondante du fait que la biomasse n'intercepte pas l'eau. Par conséquent, le sol est réchauffé plus tôt au printemps, ce qui allonge la saison de croissance, un effet qui pourrait être bénéfique dans les régions froides (Proe et coll., 1994; Zabowski et coll., 2000).

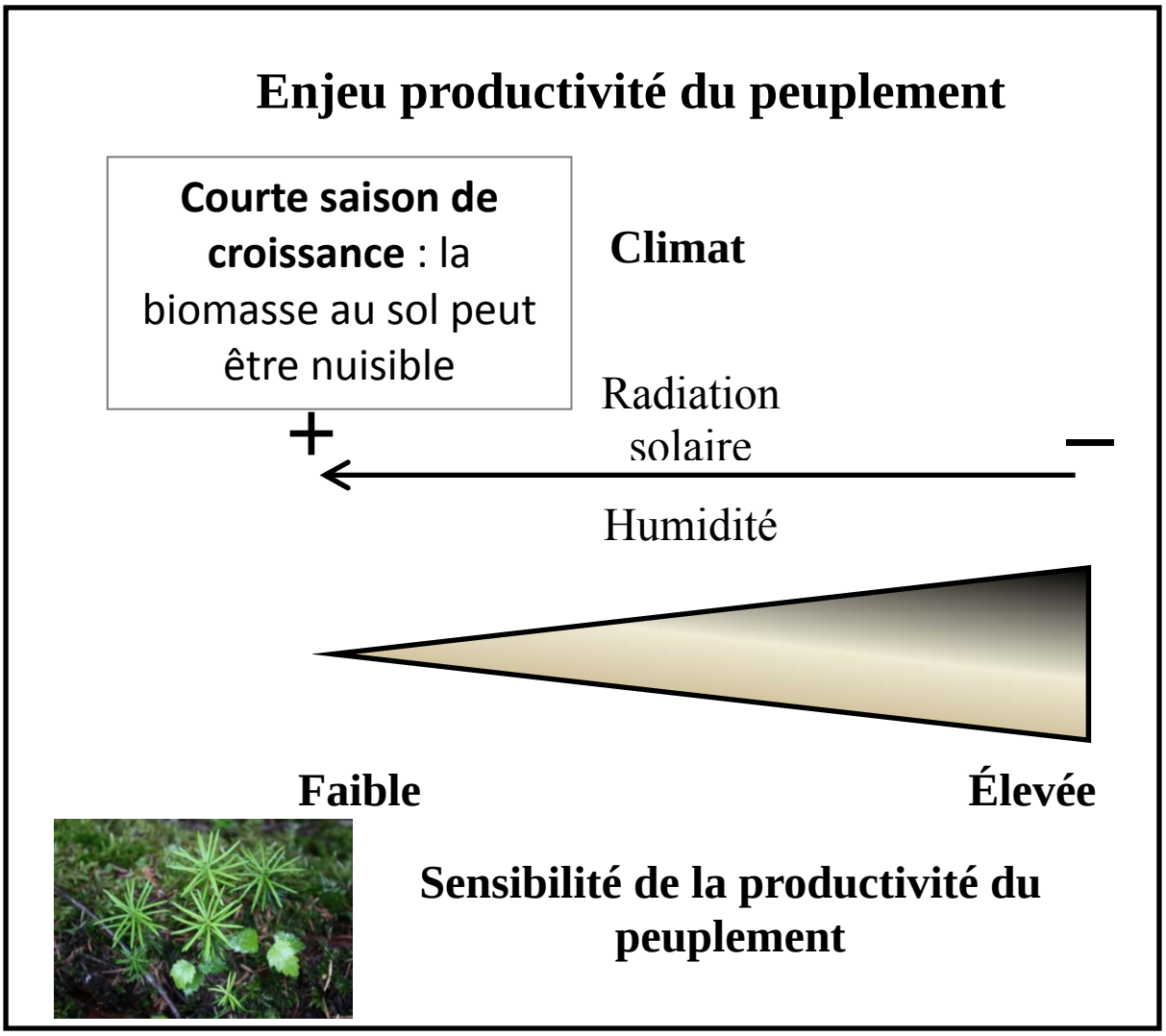


Figure 10. Gradient de sensibilité basé sur le climat.

Par contre, pour certains sites, la présence de résidus de coupe peut permettre une meilleure croissance des semis en fournissant des abris et en réduisant la vitesse du vent sur les microsites très exposés (Proe et coll., 1994). La rétention des résidus peut, particulièrement sur les sites secs et moins productifs, réduire les températures de surface et les pertes d'humidité causées par l'évaporation et l'évapotranspiration (Roberts et coll., 2005). Les résidus peuvent également protéger les semis dans les microsites propices au gel (Fleming et coll., 2006) (Figure 11).

Finalement, les résidus laissés sur le site peuvent réduire la compétition en empêchant l'établissement de la végétation concurrente (Stevens et Hornung, 1990; Fahey et coll., 1991; Proe et coll., 1994; Trottier-Picard et coll., 2014). L'étude de Trottier-Picard et coll. (2014) est la seule ayant été effectuée dans la forêt boréale québécoise; elle conclut qu'à court terme (2 ans après la coupe), les résidus de coupe modifient le microenvironnement des semis en réduisant la température du sol et la couverture de végétation compétitrice, mais cela ne se traduit pas par un effet sur la croissance des arbres.

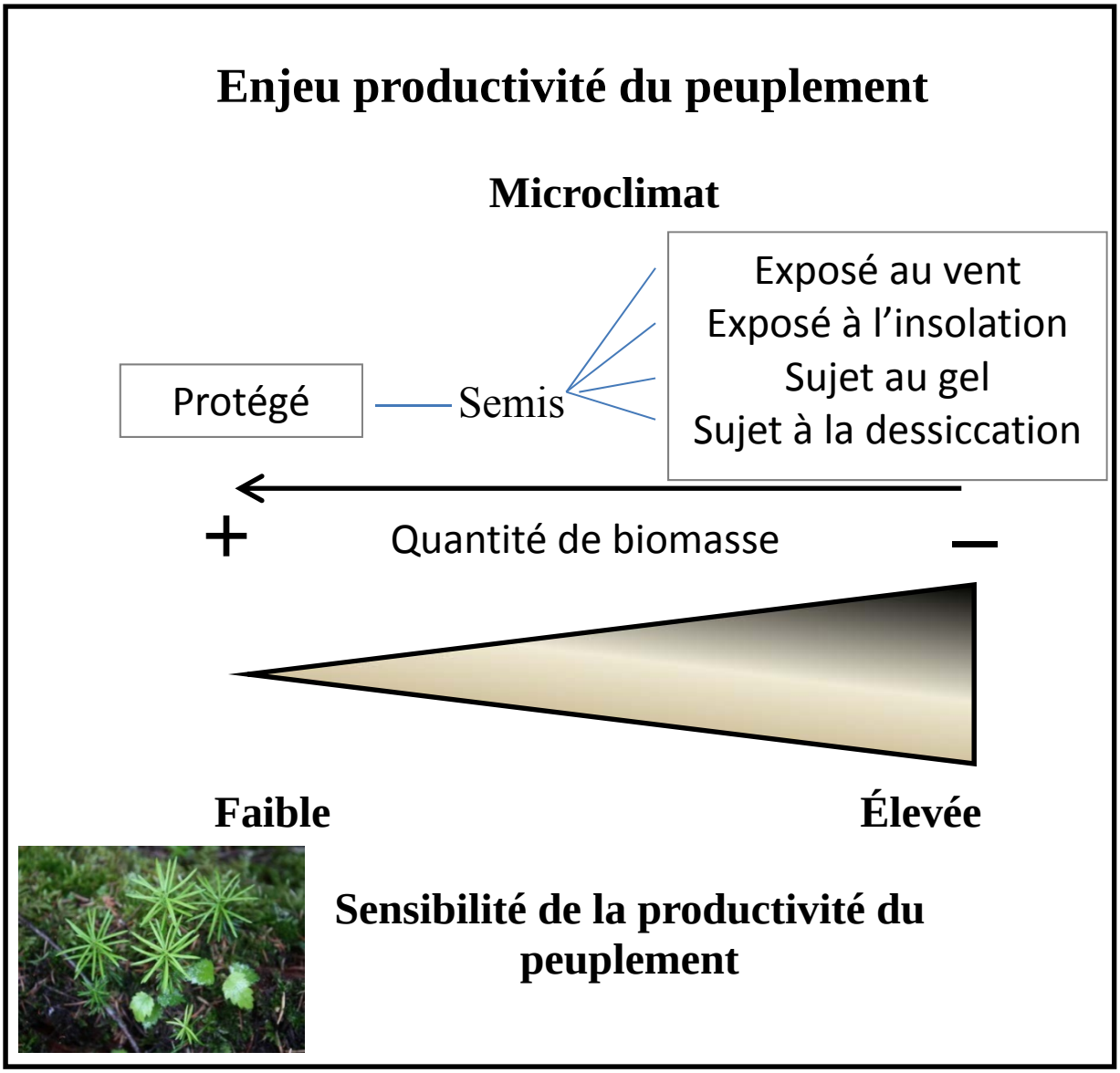


Figure 11. Gradient de sensibilité basé sur le microclimat.

Certains chercheurs se sont penchés sur la quantité optimale de résidus de coupe à laisser sur le site afin de pouvoir profiter de façon optimale des avantages sylvicoles en lien avec le microclimat. Par exemple, Lieffers et Van Rees (2000) ont développé un gradient de rétention d'arbres rémanents pour la récolte de biomasse dans les peuplements de peupliers faux-trembles dans les Prairies canadiennes. Comme la régénération de cette espèce est associée au drageonnage, il est important de favoriser un taux d'ensoleillement et de chaleur adéquat au sol en contrôlant la quantité d'arbres laissée sur le site. Les rémanents ont été classés selon la taille des amas créés et des recommandations concernant la régénération ont été faites. Ainsi, les amas de rémanents de grandes tailles devraient être évités en hiver et ceux de taille moyenne évités en été, et ce, pour favoriser la régénération du peuplier faux-tremble (Duinker, 2003).

Tableau 1. Classement des amas de rémanents selon leur taille

Taille des amas de rémanents	Volume (tonnes/hectare)
Petite	< 200
Moyenne	200 à 400
Grande	> 400

Plus tard dans la révolution du peuplement, la croissance et la productivité dépendent aussi de la disponibilité des éléments nutritifs qui est influencée par le type de récolte effectué. Dans ce cas, l'espèce régénérée après coupe détermine la réponse de la croissance et de la productivité du peuplement au prélèvement de biomasse. En effet, les différentes espèces ne réagissent pas toutes de façon semblable aux traitements de récolte (Thiffault et coll., 2011). Par exemple, des peuplements de pins gris de 15-20 ans régénérés sur des sites sans résidus de coupe ont montré une nutrition foliaire plus faible que les peuplements établis sur des sites avec résidus. Par contre, l'épinette noire, installée sur les mêmes sites que le pin gris, n'a montré aucune différence entre les traitements de récolte (Thiffault et coll., 2006). Cela s'explique par la différence entre les espèces quant à leur réactivité aux changements dans la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, particulièrement l'azote (Figure 12). En effet, certaines espèces (p. ex., l'épinette noire) semblent avoir des stratégies leur permettant de maintenir une nutrition et une croissance relativement stables, peu importe les conditions du sol; il s'agit d'espèces plus typiques de fin de succession, plus tolérantes à l'ombre, et à croissance juvénile de modérée à lente. Par contre, pour d'autres espèces, notamment celles de début de succession qui s'installent rapidement après perturbation ou celles ayant une croissance juvénile rapide (p. ex., le pin gris et le peuplier faux-tremble), la nutrition et la croissance pourraient être plus sensibles aux différences dans la disponibilité des éléments nutritifs (Thiffault et coll., 2011). Pour ces espèces dites « réactives », la récolte de biomasse pourrait donc avoir un effet négatif marqué.

2.5. Les émissions de CO_2

Les forêts peuvent être considérées comme des puits (processus retirant du CO_2 de l'atmosphère) lorsqu'elles séquestrent plus de CO_2 ou d'autres gaz à effet de serre (GES[1]) qu'elles en émettent durant une période donnée, ou comme des sources, quand elles en émettent plus qu'elles en séquestrent. Ces échanges sont déterminés par des processus naturels (p. ex., la décomposition de la matière organique), mais aussi par des processus anthropiques issus de l'aménagement forestier tels que la récolte de bois, la plantation d'arbres, les pratiques de lutte contre les perturbations naturelles (feux et épidémies), etc. Un des moyens reconnus par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour atténuer ces changements climatiques dans le secteur forestier est l'utilisation de biomasse forestière pour la production de bioénergie afin de remplacer les carburants fossiles (Comité sur la contribution du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques, 2012).

1. Les principaux GES qui existent dans l'atmosphère sont en ordre décroissant (du plus polluant au moins polluant) : gaz carbonique (CO_2 ~ 38 Gt $C0_2$.année^{-1}), méthane (CH_4 ~ 7,5 Gt CO_2.année^{-1}) et oxyde nitreux ($N0_2$ ~3,5 Gt CO_2.année^{-1}). Ces données correspondent à l'année 2004 (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2007).

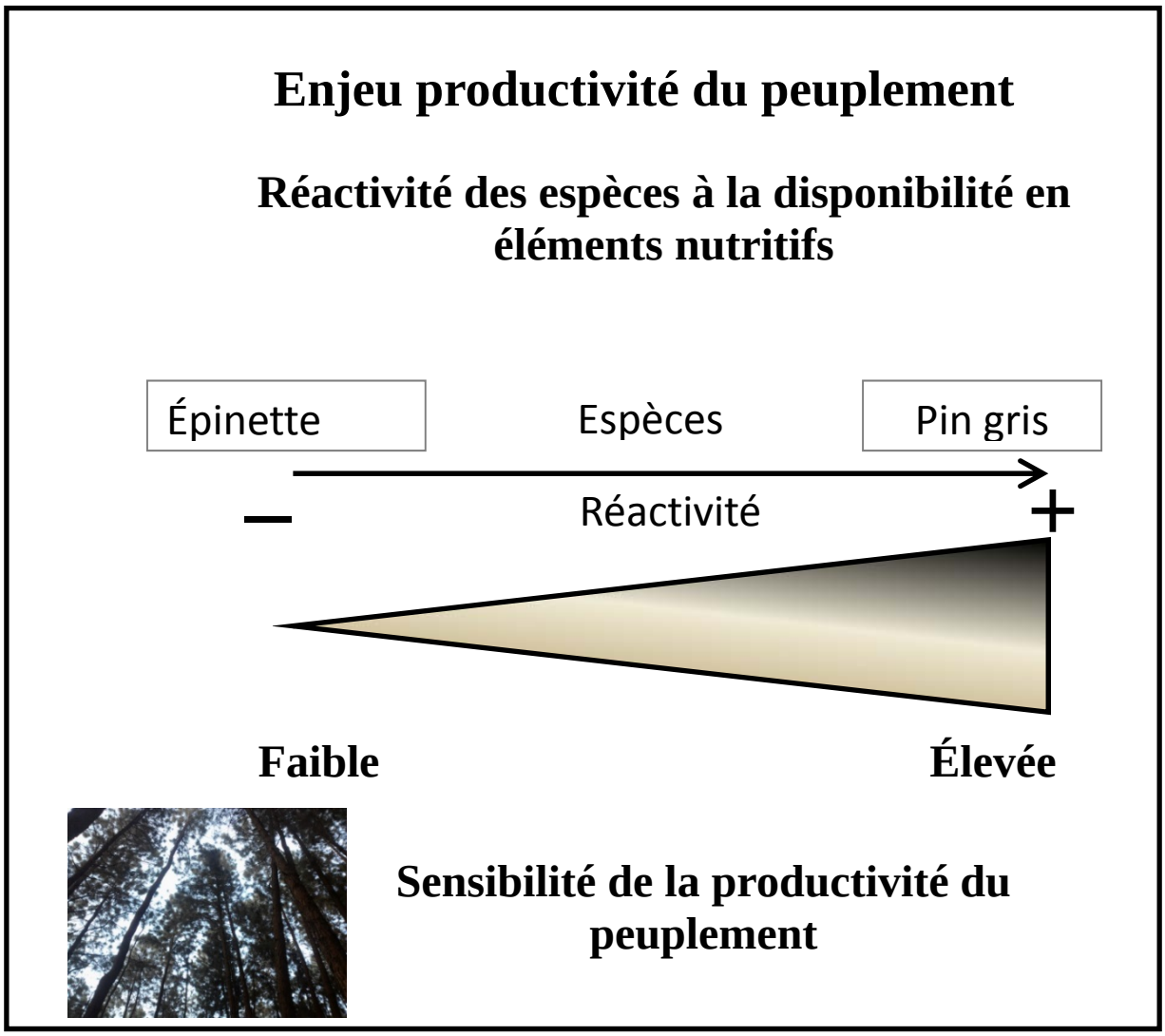


Figure 12. Gradient de sensibilité basé sur la sensibilité des espèces à la disponibilité en éléments nutritifs.

La chaîne d'approvisionnement de biomasse forestière pour la production de bioénergie entraîne l'émission de CO_2. Ces émissions ont lieu dans chacune des étapes du processus d'obtention de bioénergie : récolte, transport, entreposage, conditionnement et combustion (Figure 13). En retour, la forêt agit comme un puits de carbone en séquestrant du CO_2, mais cette capacité varie en fonction, entre autres, du type de forêt (p. ex., ancienne ou aménagée/jeune ou mature), des espèces présentes (p. ex., feuillus ou conifères/arbres, arbustes ou herbacés) et du climat (p. ex., croissance plus lente dans des climats froids). De fait, il existe une idée préconçue voulant que tout projet de biomasse pour la production d'énergie soit « carboneutre » (Johnson, 2009; McKechnie et coll., 2011). Le CO_2 émis dans l'atmosphère lors de la production d'énergie serait capturé par la forêt grâce à la photosynthèse. Toutefois, dans les faits, ce CO_2 émis lors de la production de bioénergie n'est pas recapturé immédiatement par la forêt; la recapture se fait sur une période plus ou moins longue.

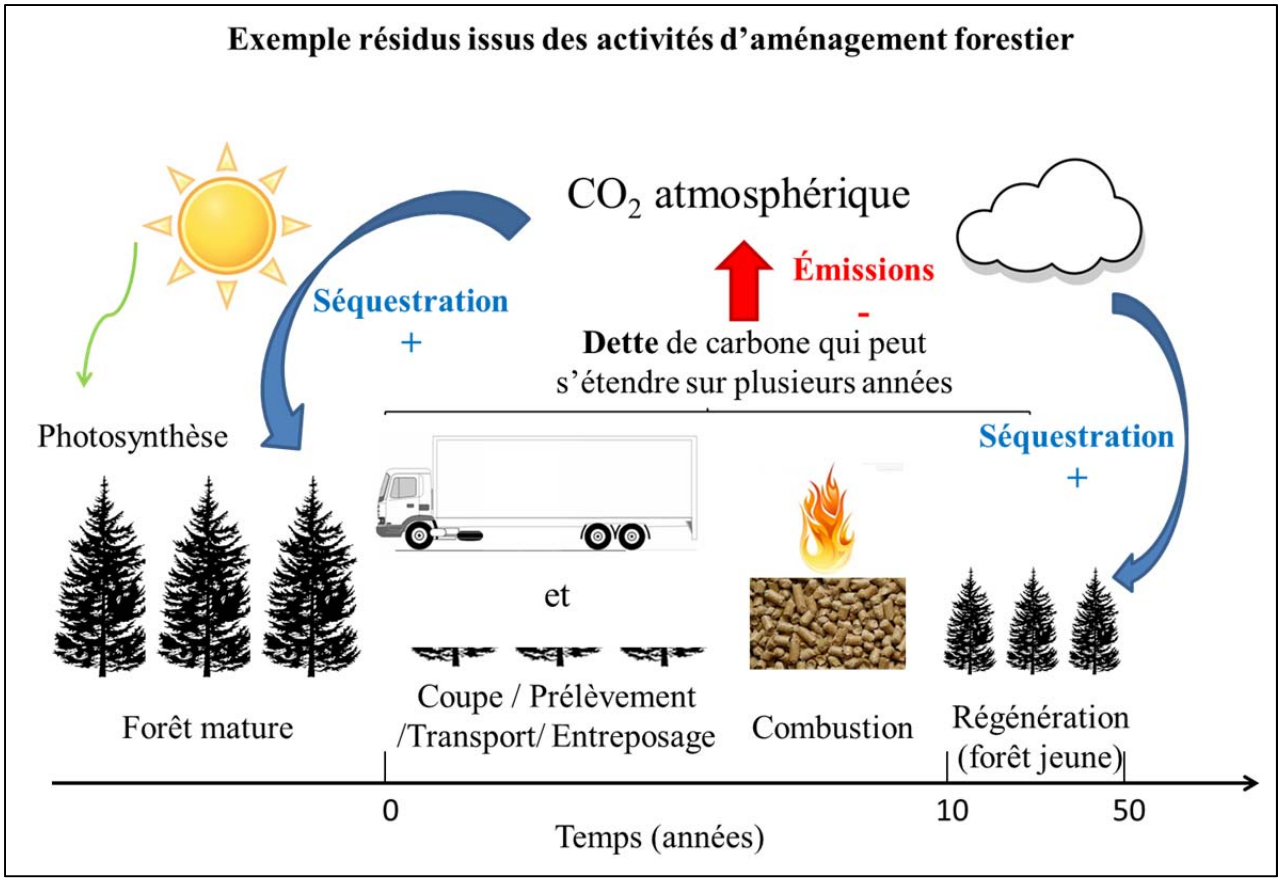


Figure 13. Schéma simplifié du bilan carbone en milieu forestier (cycle de vie du carbone).

Par unité d'énergie, les émissions de CO_2 de la biomasse forestière sont typiquement plus élevées que celles des combustibles fossiles parce que :

- la biomasse est moins dense en énergie que les combustibles fossiles et émet plus de CO_2 par unité d'énergie que ceux-ci;
- la biomasse est souvent brûlée avec une plus faible efficacité de conversion que les combustibles fossiles.

Ce fait est reconnu par la littérature scientifique internationale et ne fait pas l'objet de controverse (Bird et coll., 2011).

La bioénergie ne réduit pas physiquement les émissions de CO_2 à la cheminée. Par contre, la recapture du CO_2 lorsque la végétation repousse fait en sorte que dans un horizon plus ou moins long, l'utilisation de la bioénergie a un effet bénéfique sur les concentrations de GES dans l'atmosphère.

L'évaluation de la contribution de la biomasse forestière à la réduction des émissions de CO_2 en vue de remplacer les combustibles fossiles se fait en comparant les émissions du scénario selon lequel la biomasse est la ressource utilisée pour produire de l'énergie, le scénario « Bioénergie »

aux émissions du scénario de référence. Le scénario de référence correspond à la situation qui, normalement, aurait eu lieu si le projet de biomasse n'avait pas existé. Concrètement, il faut déterminer toutes les activités d'un projet de biomasse du scénario « Bioénergie » et comparer l'ensemble des puits et des émissions totales associées à l'utilisation de biomasse ou à celles des combustibles fossiles pour produire une quantité donnée d'énergie.

Dans certains cas, le scénario de référence est facile à établir et la comparaison avec le scénario « Bioénergie » est simple. C'est notamment le cas lorsque la biomasse utilisée provient d'un territoire aménagé de manière à produire de la biomasse additionnelle. Par exemple, un projet de plantations énergétiques établies sur d'anciennes terres agricoles abandonnées procure un bénéfice immédiat en termes de réduction d'émissions de GES. En effet, il crée de la biomasse additionnelle et donc une absorption de CO_2 additionnel à ce qui serait absorbé dans le scénario de référence sans la conversion à la bioénergie.

C'est aussi le cas lorsque la production de bioénergie utilise des résidus de coupe, du bois de postconsommation ou d'autres formes de biomasse résiduelle qui, de toute façon, se décomposeraient et émettraient du CO_2 dans l'atmosphère dans un court horizon de temps. Dans ces cas, la contribution de la biomasse forestière à la réduction des émissions de CO_2 est rapide et certaine.

Les bénéfices en termes de réduction des émissions sont plus lointains, incertains ou difficiles à prédire avec des sources de biomasse telles que les arbres verts. En effet, dans le scénario de référence, ces arbres auraient vraisemblablement continué à fixer du carbone pendant un certain temps encore. Cette perte de fixation crée une « dette de carbone » pour le scénario « Bioénergie » qui est remboursée petit à petit, à mesure que les arbres repoussent et recapturent le carbone émis lors de la combustion des arbres. Par contre, il se peut que, dans le scénario de référence, les arbres subissent une perturbation naturelle ou soient récoltés pour faire d'autres produits. Les hypothèses sont nombreuses, ce qui rend hasardeuse la prédiction des bénéfices réels à l'atmosphère.

Il est aussi reconnu que la conversion de forêts dites naturelles en plantations énergétiques provoque des effets négatifs sur le climat. En effet, la substitution d'une forêt à maturité par une plantation énergétique entraîne d'importantes émissions de CO_2 au moment de la conversion, en raison, principalement, de la baisse des stocks de carbone. La dette de carbone liée à la conversion est souvent très longue à rembourser, et ce, malgré la réduction des quantités de combustibles fossiles utilisées (Righelato et Spracklen, 2007).

Les autres sources de biomasse se trouvent entre ces deux extrêmes, soit entre les sources de biomasse aux bénéfices rapides et certains, et celles aux bénéfices lointains et plus incertains.

Toutes choses étant égales, les sources de biomasse procurant des bénéfices certains et à **court terme** sont :

- les résidus post-consommation;
- les résidus industriels;

- les résidus de coupe et autres résidus d'aménagement forestier qui se décomposent rapidement (p. ex., petits arbres issus d'éclaircies précommerciales);
- la biomasse issue de plantations en courte rotation en afforestation.

Les sources de biomasse procurant des bénéfices à **moyen terme** sont :

- le bois récupéré après des perturbations naturelles;
- les résidus d'aménagement forestier qui se décomposent plus lentement (arbres coupés de grande dimension, mais sans valeur commerciale);
- le bois d'arbres vivants sans utilisation commerciale laissés sur pied lors de coupe totale et susceptibles de mourir rapidement.

Les sources de biomasse procurant des bénéfices plus incertains et à **long terme** sont :

- le bois d'arbres vivants sur pied utilisé directement en bioénergie;
- la biomasse de plantation issue de la conversion de forêts matures.

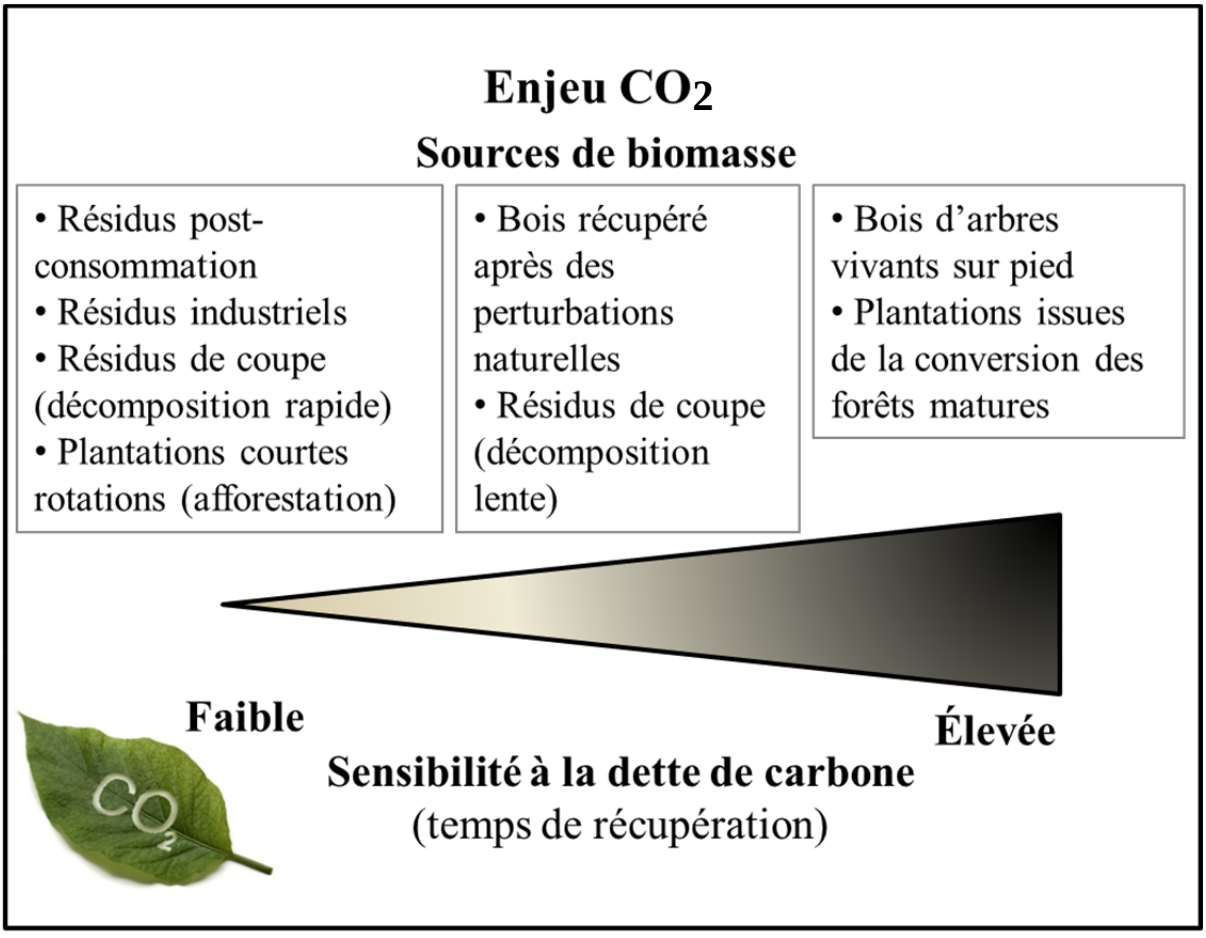


Figure 14. Gradient de sensibilité basé sur les bénéfices à court, moyen et long termes des sources de biomasse.

Le délai et la certitude des bénéfices créés par l'utilisation de la bioénergie forestière dépendent donc de la source de biomasse forestière utilisée. D'autres paramètres font également varier ces bénéfices : le mode de conversion de la biomasse en énergie (efficacité à produire de l'énergie) et le type de combustible fossile remplacé.

La quantité d'énergie utile produite par la biomasse forestière dépend du mode de conversion utilisé. Par exemple, le taux d'efficacité de conversion visant uniquement la production d'électricité par des centrales thermiques classiques va de 35 % à 45 %, tandis que les taux des chaudières de chauffage seules et de la cogénération (chauffage et électricité combinés) s'élèvent respectivement à 90 % et à 85 % en moyenne (European Environment Agency, 2010). Ainsi, selon cet ordre, les modes de conversion devraient être traités en priorité, en débutant par le plus avantageux (Figure 15) : 1) chaleur et cogénération, 2) électricité et 3) biocarburant.

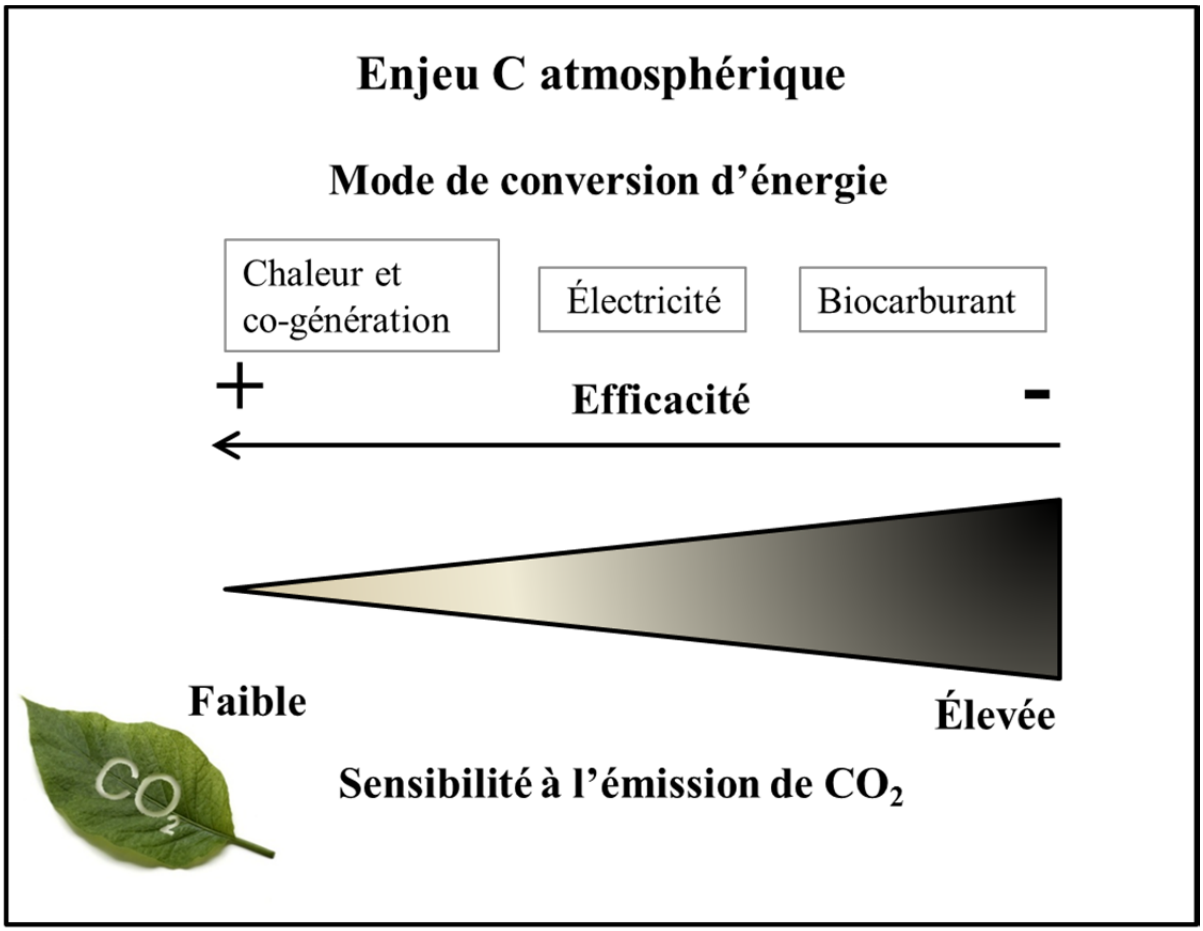


Figure 15. Gradient de sensibilité basé sur le mode de conversion de la biomasse en énergie.

Certains combustibles fossiles dégagent une plus grande quantité de CO_2 par unité d'énergie que d'autres, et leur remplacement prioritaire augmente la rapidité de génération et l'ampleur des bénéfices d'un projet de bioénergie sur le climat. Les combustibles fossiles peuvent être classés en ordre décroissant d'émissions de CO_2 par unité d'énergie produite (kg/GJ), le premier

présentant donc la meilleure occasion de substitution par la biomasse (Comité sur la contribution du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques, 2012) :

1. Charbon 92,385 kg CO_2/GJ;
2. Mazout lourd 74,032 kg CO_2/GJ;
3. Mazout léger et diesel 70,483/72,125 kg CO_2/GJ;
4. Essence 68,145/73,156 kg CO_2/GJ;
5. Gaz naturel 50,198 kg CO_2/GJ.

En outre, les émissions de préconsommation, liées à l'extraction des combustibles fossiles, sont généralement très élevées. En effet, toutes les méthodes d'extraction d'huile engendrent des émissions préconsommation importantes, beaucoup plus élevées que celles reliées à la biomasse forestière. Ces émissions peuvent être particulièrement élevées dans le cas de l'extraction d'huile par injection de vapeur ou, encore, quand le gaz naturel est brûlé comme déchet de l'extraction de l'huile, telles que pratiquées dans certaines exploitations qui ne sont pas desservies par des gazoducs. Le raffinage entraîne aussi des émissions importantes en raison, entre autres, de la combustion de déchets gaziers provenant du processus de distillation fractionnée. L'ensemble de ces sources d'émissions atteint en moyenne 25 % des émissions à la cheminée (Air Resources Board, 2009; Manomet Center for Conservation Sciences, 2010).

En résumé, la source de biomasse, le mode de conversion et le type de combustible fossile remplacé sont des facteurs cruciaux à considérer lors de la sélection de projets de biomasse qui doivent maximiser les bénéfices à l'atmosphère. Tout projet de biomasse génère nécessairement, avec le temps, une réduction d'émissions de CO_2 par rapport à un scénario basé sur l'utilisation de combustibles fossiles. Dans l'analyse d'un projet de biomasse, l'enjeu n'est donc pas de démontrer qu'un bénéfice existe, mais plutôt de savoir quand il se manifestera et avec quelle ampleur.

Le moment et l'ampleur du bénéfice à l'atmosphère peuvent varier énormément d'un projet à l'autre. La dette de carbone d'un projet utilisant des résidus de coupe peut être remboursée après 6 ans, pour générer ensuite des bénéfices à perpétuité (Tableau 2) (Comité sur la contribution du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques, 2012). Par contre, la dette peut prendre près de 100 ans à être remboursée si des arbres verts sont récoltés en forêt naturelle pour produire de l'énergie. Plus la dette est remboursée rapidement, plus les bénéfices sont engendrés rapidement, ce qui diminue l'impact sur le réchauffement du climat. Le Tableau 2 illustre la grande sensibilité de la durée de remboursement de la dette de carbone (de 4 à plus de 100 ans) par rapport aux paramètres d'un projet consistant à utiliser de la biomasse forestière pour la production d'énergie, et ce, en présentant quelques exemples tirés de la documentation scientifique.

Tableau 2. Exemples de temps de remboursement de la dette de carbone en rapport avec les principaux paramètres des projets (les méthodes d'analyse pouvant varier entre les projets)

Dette (années)	Type de biomasse forestière utilisée	Mode de conversion (Énergie produite)	Combustible fossile remplacé	Référence
4	Branches	Chaleur	Gaz naturel	Repo et coll., 2011
6	Résidus de coupe[1]	Chaleur	Mazout	Bernier et Paré, sous presse GCB-Bioenergy
22	Souches	Chaleur	Gaz naturel	Repo et coll., 2011
70-75	Tiges[2] commerciales	Chaleur (chauffage résidentiel et urbain)	Mazout	Manuilova et Johnston, 2011
74	Résidus de coupe	Éthanol	Essence (Fuel E85)	McKechnie et coll., 2011
90	Arbres entiers[3]	Chaleur	Mazout	Bernier et Paré, communication personnelle
> 100	Arbres entiers	Éthanol	Essence (Fuel E85)	McKechnie et coll., 2011

1. Résidus de coupe : parties non commerciales de l'arbre, généralement les branches et, parfois, l'extrémité fine de la tige.
2. Tige : tige principale de l'arbre, entre la souche et le sommet.
3. Arbre entier : ensemble de la partie aérienne de l'arbre, comprenant la tige et les branches.

Source : Comité sur la contribution du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques, 2012.

3. Encadrement des pratiques de récolte de biomasse dans le monde

Plusieurs juridictions en Europe et en Amérique du Nord ont développé des lignes directrices, réglementaires ou non, qui permettent de prendre en compte les impacts environnementaux et sociaux de la récolte de biomasse forestière. Ces juridictions ont comme options de conserver uniquement les lignes directrices qui s'appliquent aux pratiques forestières régulières, d'adapter ces dernières ou alors d'en développer de nouvelles qui s'appliquent spécifiquement à la récolte de biomasse forestière. Les lignes directrices peuvent prendre la forme de recommandations générales ou de gradients plus prescriptifs qui comprennent des seuils précis à respecter. Elles sont bâties à partir de connaissances scientifiques et de recommandations d'experts locaux. Les impacts de la récolte de biomasse sont fréquemment déduits des impacts associés à d'autres types d'opérations forestières. Par conséquent, les enjeux liés au prélèvement de résidus forestiers sont souvent déjà partiellement couverts par un ensemble de saines pratiques d'aménagement et par la législation encadrant les pratiques forestières traditionnelles. Mentionnons, en terminant, que des systèmes de certification assurant spécifiquement la production durable de biomasse forestière sont en cours de développement.

L'intégration de la récolte de biomasse à l'ensemble des activités forestières suppose, pour les différentes juridictions impliquées, le développement de lignes directrices qui permettent la prise en compte des impacts de cette nouvelle pratique, à différentes échelles, sur l'environnement et les communautés forestières (Fernholtz, 2009). À ce jour, plusieurs juridictions européennes (Communauté européenne, Danemark, Finlande, France, Royaume-Uni, Scandinavie et Suède) et nord-américaines (États-Unis : Maine, Missouri, Minnesota, Pennsylvanie, Wisconsin, Michigan, Massachusetts, Maryland, Vermont et Californie; Canada : Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Ontario, Québec et Colombie-Britannique) se sont penchées sur la question (Stewart et

coll., 2010 et 2011). Comme les régimes forestiers varient d'une juridiction à l'autre, il est important de mentionner que certaines lignes directrices sont réglementaires, c'est-à-dire qu'elles sont légalement contraignantes, alors que d'autres ne sont que des avis sur les meilleures pratiques à appliquer.

3.1. Des lignes directrices

La création de lignes directrices s'effectue selon différentes approches. Dans certains cas, les lignes directrices en place pour les pratiques forestières régulières sont considérées comme suffisantes pour couvrir les activités de récolte de biomasse et donc aucune action supplémentaire n'est nécessaire. Toutefois, lorsqu'elles sont jugées insuffisantes, certaines juridictions préfèrent développer des lignes directrices distinctes pour la récolte de biomasse ou adapter la législation existante (Evans et coll., 2010).

3.1.1. L'aménagement forestier adaptatif

Le processus de développement des lignes directrices prend différentes formes et peut inclure une grande diversité d'acteurs. De manière idéale, ce processus s'effectue selon un processus d'aménagement forestier adaptatif (Thiffault et coll., 2010). D'abord, la nouvelle législation devrait être basée sur la littérature scientifique existante concernant les effets de cette pratique. De même, la participation des différentes parties prenantes des juridictions est essentielle afin d'identifier tous les enjeux du prélèvement de la biomasse forestière. Enfin, l'ajustement constant des lignes directrices selon les données produites grâce au suivi et à la recherche est aussi indispensable.

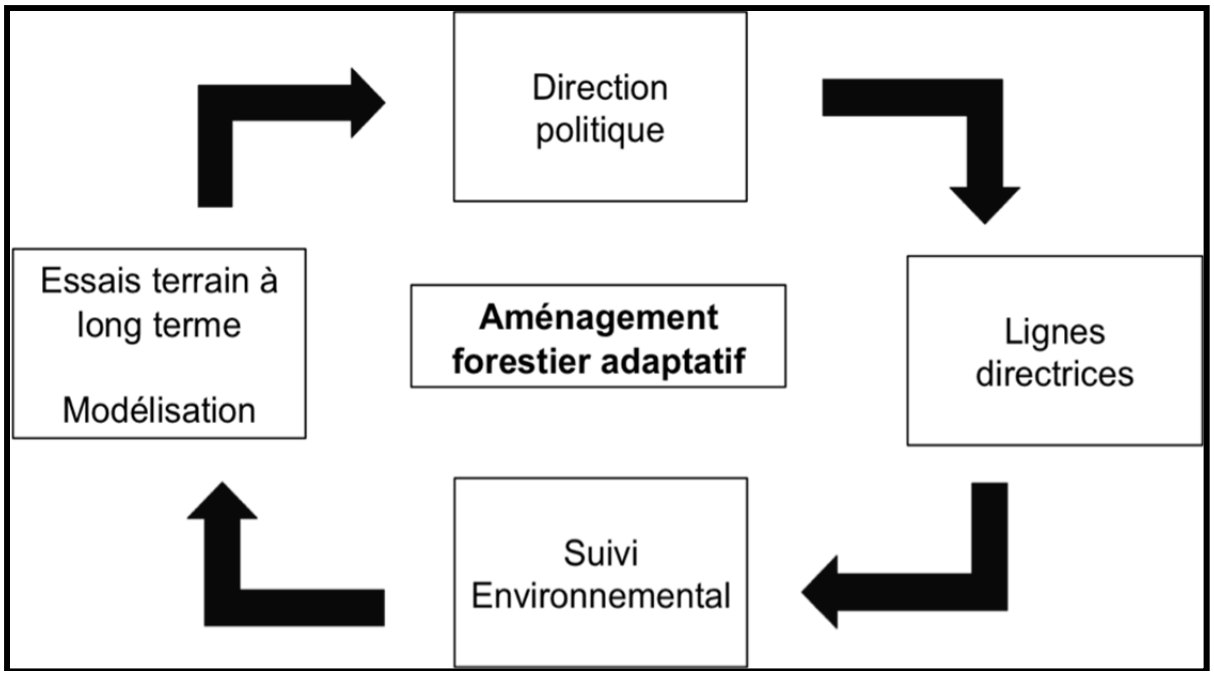


Figure 16. Aménagement forestier adaptatif.

Plusieurs juridictions ont connu une démarche de développement des lignes directrices qui reposait sur certains de ces critères. C'est le cas notamment du Wisconsin, de l'Ontario et de la Suède. Au Wisconsin, les lignes directrices sont constamment remaniées selon la meilleure information scientifique disponible. Évaluées par des groupes d'experts et de parties prenantes, elles font l'objet de consultations publiques (Wisconsin Department of Natural Resources, 2008).

En Ontario, l'élaboration des lignes directrices est aussi basée sur le principe de gestion adaptative. Elle passe par des efforts de recherche, des inventaires accrus, un suivi des impacts des pratiques de récolte et un ajustement de la réglementation selon les nouvelles connaissances. Il y a ainsi un transfert de l'information la plus récente développée par les scientifiques vers les décideurs qui l'intègrent à la législation existante. La collaboration est aussi favorisée entre les différents paliers de gouvernement (fédéral et provincial) et les institutions académiques (Puddister et coll., 2011).

Enfin, en Suède, la *Swedish Forest Agency* développe depuis 1986 des recommandations et de saines pratiques pour la récolte de biomasse forestière. Ces dernières ont été révisées entre 1993 et 1998 grâce à des données provenant de différentes initiatives de recherche visant à comprendre les impacts écologiques causés par cette pratique. Ces recommandations ont été remplacées en 2002 par une nouvelle législation contenue dans le *Swedish Forest Act*. Cette législation a été soumise à l'évaluation de diverses parties prenantes (institutions, industries forestières, organisations non gouvernementales, etc.) qui pouvaient suggérer des améliorations. La plus récente révision des recommandations sur les pratiques de récolte de résidus de coupe date de 2008 (Levin et Eriksson, 2010).

3.1.2. Des recommandations et des gradients

Les lignes directrices sont généralement des recommandations permettant de prévenir les impacts négatifs de la récolte de biomasse sur les écosystèmes. Elles peuvent aussi être prescriptives, c'est-à-dire qu'elles établissent un gradient de conditions de site pour lesquels le risque environnemental posé par la récolte de biomasse est faible, modéré ou élevé. Les gradients s'expriment par un niveau de sensibilité ou de risque environnemental d'un site qui varie selon un facteur considéré. Par exemple, plus la texture d'un sol est grossière, plus ce site pourrait être considéré comme sensible et à risque de subir des effets négatifs. Le type de récolte permis sur un site est inversement proportionnel à ce niveau de sensibilité ou de risque. Ainsi, sur les sites à risque faible, la récolte de biomasse est permise avec peu ou pas de restrictions. Au contraire, plus le niveau de risque est élevé, plus le prélèvement de résidus de coupe devrait être limité, et ce, jusqu'à une interdiction totale. Dans les faits, des catégories de sites forestiers, délimitées par des seuils précis, sont souvent fixées afin d'encadrer les pratiques de récolte de biomasse. Ainsi, selon les caractéristiques du site forestier, le niveau de risque est considéré comme étant élevé (récolte interdite), moyen (récolte conditionnelle) et faible (récolte permise) (Figure 17).

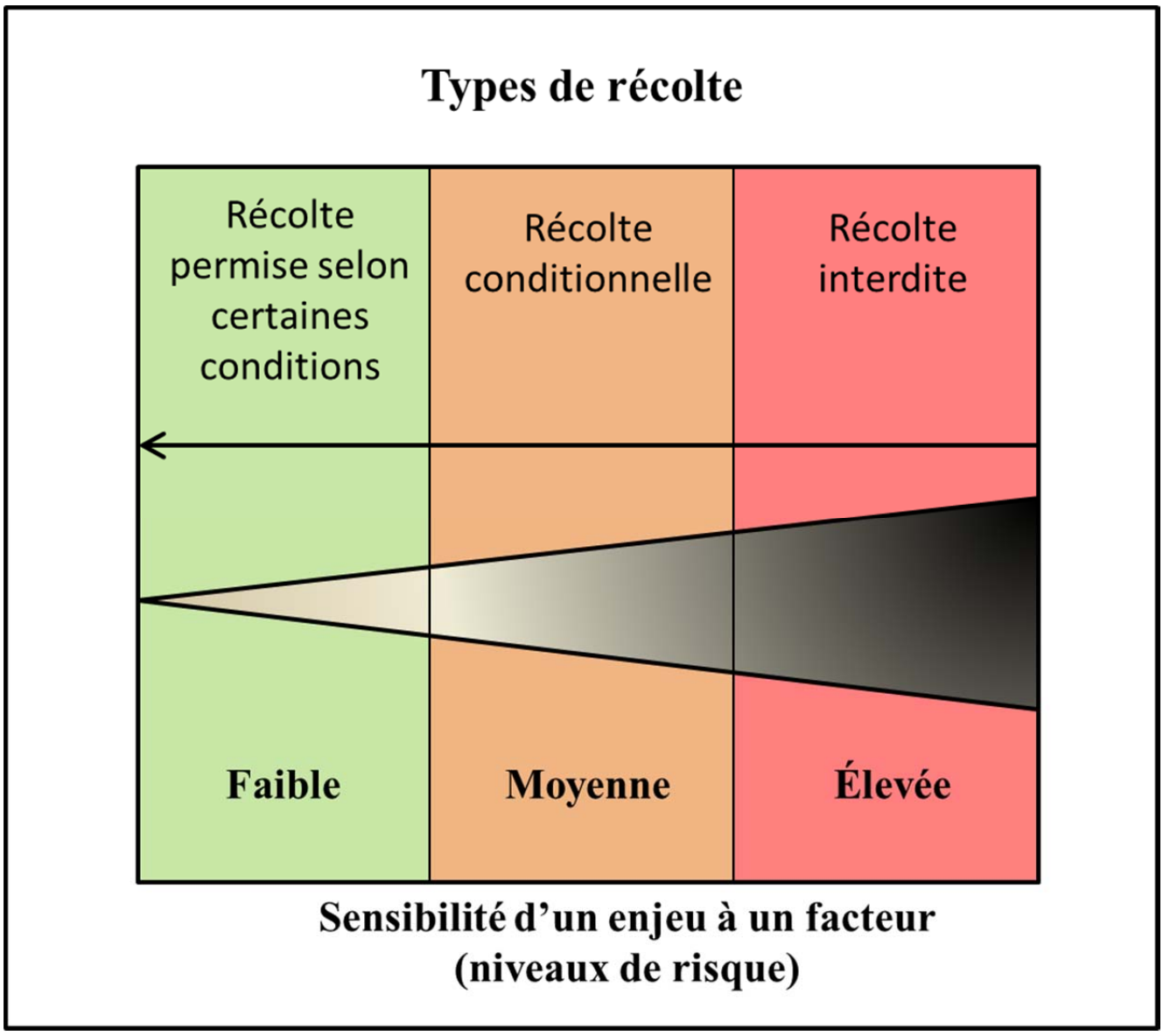


Figure 17. Gradient de sensibilité et types de récolte.

Les lignes directrices prenant la forme de recommandations sont présentées à l'Annexe 1. L'enjeu de la productivité du sol, qui est traité par les différentes juridictions sous la forme de gradients associés à différents niveaux de risque, est présenté à l'Annexe 2.

Les lignes directrices développées par les juridictions en matière de récolte de biomasse forestière s'appuient généralement sur des connaissances scientifiques et des jugements d'experts locaux. Aussi, les impacts environnementaux attendus de la récolte de biomasse forestière sont souvent prédits ou déduits à partir des impacts connus d'autres types d'opérations forestières.

De même, les seuils précis identifiés dans les documents consultés ne sont souvent pas directement tirés de la littérature scientifique. Par exemple, les cibles de rétention de bois mort identifiées dans les lignes directrices des États américains sont plus ou moins supportées par des

références à la littérature scientifique (Stewart et coll., 2010). La plupart de ces seuils sont plutôt le fruit d'avis d'experts et de connaissances locales.

Enfin, dans plusieurs juridictions, de nombreux enjeux liés à la récolte de biomasse comme la protection de l'eau ou de la biodiversité sont déjà couverts par les saines pratiques d'aménagement ou par la législation en vigueur encadrant les opérations forestières en général (Evans et coll., 2010). Malgré tout, la majorité des lignes directrices pour le prélèvement des résidus forestiers comprennent des recommandations complémentaires pour tenir compte des pressions supplémentaires sur les écosystèmes que pourrait causer ce prélèvement.

L'information présentée actuellement dans la littérature scientifique et dans des études futures pourra favoriser la création de lignes directrices plus élaborées, plus précises et plus efficaces dans une optique de récolte de biomasse qui respecte différents enjeux environnementaux. Pour ce faire, les efforts de recherche pourraient cependant être orientés davantage vers l'identification de seuils associés à des niveaux de risques environnementaux.

3.2 Des recommandations et des gradients selon les enjeux

3.2.1. La biodiversité

D'après les lignes directrices présentées à l'Annexe 1, les recommandations les plus fréquentes visant à diminuer les effets négatifs de la récolte de biomasse sur la biodiversité sont :

- conserver du bois mort (débris ligneux grossiers, débris ligneux fins, billes et chicots);
- conserver des arbres à vocation faunique (arbres semenciers, arbres vivants, arbres à cavité, etc.);
- conserver la couverture morte (humus), les souches et les racines;
- éviter les sites qui ont une grande valeur de conservation; et
- éviter la récolte près des habitats des espèces menacées et en danger.

L'importance de la majorité de ces recommandations dans un contexte de conservation de la biodiversité n'est plus à prouver. La plupart d'entre elles sont même déjà prises en compte dans la législation de plusieurs juridictions. Par contre, peu de juridictions fixent des volumes précis de débris à retenir sur le site. À titre d'exemple, pour conserver la richesse des communautés de polypores, Brazee et coll. (2012) conseillent de maintenir une certaine proportion de débris ligneux fins (diamètre < 5 cm), mais ils n'indiquent pas le volume à laisser sur place. Le Tableau 3 montre quelques lignes directrices de rétention selon le type de structure.

Tableau 3. Lignes directrices générales pour la rétention selon les structures forestières

Structure	Cible minimum (par acre[1])		Considérations
	Nombre	Surface terrière (pied²)	
Arbres vivants en dépérissement (12-18 pouces[3] DHP)	**4**	**4**	Dans les endroits où les arbres désignés pour la rétention ne sont pas présents et où les cibles ne peuvent pas être atteintes étant donné les espèces présentes ou les conditions sur le site, laisser sur place les plus gros arbres.
Arbres vivants en dépérissement (> 18 pouces DHP)	**1**	**1**	
Chicots (> 10 pouces au DHP)	**5**	**5**	La sécurité des travailleurs est une priorité. Conserver autant de chicots que possible, mais, si les chicots individuels doivent être coupés pour des raisons de sécurité, ils doivent être laissés dans la forêt.

1. Unité de mesure : 1 acre = 0,40 ha.
2. Unité de mesure : 1 pied = 30,48 cm.
3. Unité de mesure : 1 pouce = 25,4 mm.

Ces lignes directrices ne doivent pas être appliquées en toutes circonstances. Elles constituent des moyennes pouvant être appliquées dans un peuplement, un bloc de récolte ou un lot privé (Forest Guild Biomass Working Group, 2010).

De plus, selon le type de forêt, il existe des objectifs quant à la quantité de débris ligneux (chicots et bois mort) à laisser sur place lors de la récolte de biomasse (Tableau 4).

Tableau 4. Objectifs pour les structures forestières

Type de forêts	Chicots	Bois mort
Feuillus du sud des Appalaches	Au moins 17 chicots par acre > 4 pouces au DHP	Au moins 3 tonnes par acre
Feuillus des hautes terres et forêts mixtes de pins-feuillus	Au moins 11 chicots par acre > 4 pouces au DHP	Au moins 3 tonnes par acre
Feuillus des basses terres	Au moins 6 chicots par acre > 10 pouces au DHP	Au moins 3 tonnes par acre
Piémont et la plaine côtière de pins	Au moins 5 chicots par acre > 4 pouces au DHP	Au moins une tonne par acre

Source : Forest Guild Southeast Biomass Working Group, 2012.

3.2.2. L'eau et les zones riveraines

Dans l'Annexe 1, on peut identifier les recommandations suivantes pour le maintien de la qualité de l'eau :

- planifier et construire les routes avec soin;
- minimiser l'exposition des sols;
- assurer un retour rapide de la végétation;
- maintenir des zones tampons adjacentes aux cours d'eau;
- conserver des résidus de coupe et des arbres sur pied; et
- sélectionner l'équipement de récolte afin d'éviter de perturber le sol.

La majorité des juridictions incluent déjà des recommandations de protection de l'eau et des zones riveraines dans la réglementation encadrant l'ensemble des pratiques forestières. Ces saines pratiques pourraient assurer la protection de cette ressource dans un contexte de récolte de biomasse à condition que certains éléments spécifiques à cette nouvelle pratique, comme la fertilisation, y soient pris en compte (Shepard, 2006).

3.2.3. La productivité du sol

Une grande partie des juridictions présentent leurs lignes directrices en lien avec la productivité du sol sous forme de gradients de risque. Ces derniers sont présentés à l'Annexe 2. Il est nécessaire de préciser que, dans ces gradients, différentes caractéristiques de sol utilisées dans diverses juridictions réfèrent probablement aux mêmes conceptions de la sensibilité des sols. Par exemple, la plupart des juridictions considèrent que les sols pauvres sont à risque; toutefois, comme la gamme de conditions de sol retrouvée dans chaque pays est différente, ce qui est considéré comme « pauvre » dans une juridiction ne l'est pas nécessairement dans une autre. À titre d'exemple, au Royaume-Uni, les podzols sont qualifiés de pauvres, et donc de sensibles, relativement à la gamme de fertilité des sols retrouvés dans ce pays, alors qu'en Finlande (dont les peuplements boréaux sont situés en grande partie sur des podzols), on définit les sols pauvres et sensibles comme étant les sols très secs, grossiers et dominés par le lichen.

En plus de ces gradients, la plupart des juridictions ont formulé des recommandations complémentaires liées à la productivité des sols (Annexe 1). Les points majeurs abordés sont :

- conserver la couverture morte (humus), les souches et le système racinaire sur le site;
- conserver une proportion de résidus de coupe sur le site;
- limiter les perturbations liées à la construction de routes ou de jetées;
- minimiser les perturbations du sol incluant le compactage, l'orniérage et l'érosion; et
- fertiliser certains sites avec des cendres de bois.

Il est à noter que, comme pour la protection de l'eau et des zones riveraines, la productivité des sols est souvent déjà abordée par les juridictions dans le cadre de leur législation concernant l'ensemble des pratiques forestières. Par exemple, au Michigan, le document *Sustainable Soil and Water Quality Practices on Forest Land Manual (IC 4011)* propose déjà des lignes directrices précises pour la conservation des sols (Stewart et coll., 2010).

Les lignes directrices concernent principalement les perturbations physiques du sol (compactage, érosion, orniérage, etc.), en raison du passage plus fréquent de la machinerie, et le retrait d'une partie de la couverture au sol qui forme normalement un tapis pour diminuer l'impact du passage de cette dernière. Par contre, les aspects visant à préserver la chimie du sol (niveau d'acidité, réserves d'éléments nutritifs, etc.) sont moins souvent couverts dans les recommandations.

Des recommandations pour la protection de la productivité des sols propres aux conditions forestières du Québec, basées sur les connaissances et les recommandations faites ailleurs, se retrouvent à l'Annexe 2.

3.2.4. La productivité du peuplement

Plusieurs États américains ont développé des lignes directrices concernant la productivité des peuplements (Annexe 1). Les recommandations les plus fréquemment formulées sont :

- éviter de convertir les forêts naturelles en plantations;
- limiter le nombre d'entrées dans le peuplement;
- éviter l'écrémage; et
- utiliser la récolte de biomasse afin d'atteindre divers objectifs d'aménagement : opération de récupération et d'hygiène du peuplement, augmentation de l'esthétisme, réduction des combustibles, contrôle des espèces floristiques invasives, etc.

La plupart des recommandations formulées par les États américains ne visent pas la production de biomasse forestière comme telle; la récolte des résidus est plutôt vue comme un outil sylvicole pour atteindre des conditions désirables de peuplement (Stewart et coll., 2010). Aussi, la plupart des recommandations formulées visent à profiter des bénéfices associés à la récolte de biomasse pour obtenir ces conditions désirables, et non à répondre aux impacts négatifs potentiels de cette récolte sur la productivité des sites.

La réduction des risques de feux de forêt est un des objectifs d'aménagement les plus souvent associés à la récolte de biomasse forestière. Ce type d'aménagement permet de créer des structures de peuplements moins vulnérables au feu en réduisant les combustibles en forêt (arbres de petit diamètre, rémanents au sol, etc.) (Stewart et coll., 2010). La gestion et la collecte de ces combustibles par le prélèvement de biomasse peuvent contribuer à réduire le risque d'incendie en réduisant la puissance du feu, en favorisant les actions de lutte face à cette perturbation et en diminuant ses impacts sur d'autres enjeux. De plus, comme les activités d'aménagement des combustibles reposent sur des interventions qui sont fréquentes et coûteuses, une réalisation conjointe de cette pratique avec le prélèvement des résidus forestiers à des fins de bioénergie constitue un moyen de rentabiliser ces travaux (Landmann et coll., 2009).

3.2.5. Les émissions de CO_2

De façon générale, les lignes directrices existantes sur la récolte de biomasse forestière n'incluent pas des recommandations sur l'enjeu carbone. Cependant, quelques États américains, à savoir la Californie, l'Orégon et l'État de Washington, traitent le sujet du carbone (North East State Foresters Association [NEFA], 2012). Par exemple, en Orégon, une des recommandations

est d'utiliser efficacement la ressource et, concrètement, d'encourager la cogénération (Oregon Forest Biomass Working Group (OFBWG), 2011).

Toutefois, dans le nord-est des États-Unis, des recommandations pour l'enjeu du CO_2 du Forest Guild Biomass Working Group (2010) concernent souvent l'aménagement forestier dans son ensemble :

- Éviter la conversion des forêts en un autre système d'utilisation des terres. La récolte de biomasse forestière peut diminuer la volonté de convertir les forêts par le fait qu'elle offre de nouveaux revenus aux propriétaires forestiers et qu'elle maintient l'industrie forestière ainsi que les marchés.
- Prioriser les structures non équiennes des forêts aux structures équiennes. La sylviculture qui encourage le développement de structures complexes (forêts non équiennes) séquestre plus de carbone que la sylviculture qui tente de recréer des conditions homogènes. Quand les structures équiennes sont recommandées, encourager la régénération préétablie ou bien conserver les composantes résiduelles du peuplement initial. Quand il s'agit d'espèces tolérantes ou moyennement tolérantes à l'ombre, essayer d'aller vers des plantations non équiennes, car cela augmente la séquestration de carbone.
- Conserver des arbres ou retarder leur moment de récolte. Élargir la période de rotation.
- Utiliser en priorité les débris ligneux pour la production d'énergie au lieu des arbres verts. Les débris ligneux se décomposent et émettent du carbone tandis que les arbres verts continuent à séquestrer du carbone atmosphérique et d'autres GES.
- Prioriser la récolte des arbres malades ou qui ont une durée de vie courte à la récolte d'arbres sains (durée de vie plus longue et séquestration de C plus rapide). De plus, ils peuvent produire des produits de qualité plus élevée ce qui fait que leur pouvoir de séquestration de C est beaucoup plus long par rapport aux produits ayant un cycle de vie plus court (p. ex., le papier).

Enfin, un des aspects mentionnés, celui de la prévention des feux de forêt à travers la récolte de biomasse, s'applique aussi dans l'enjeu de la séquestration de carbone. En effet, en diminuant le risque de feux, la récolte de biomasse réduit aussi les émissions de CO_2 (Stewart et coll., 2011).

Ces lignes directrices n'incluent toutefois pas de recommandations sur le volume de biomasse forestière à prélever pour minimiser la « dette de carbone ». Ce volume ne peut être déterminé que par la modélisation des flux de carbone au fil du temps (Forest Guild Biomass Working Group, 2010) et il doit être spécifique aux conditions du site. De plus, ces recommandations ne sont pas toujours réalistes en raison notamment de contraintes techniques et économiques issues de la diversité de sites. Il est donc important d'adapter les recommandations selon les caractéristiques spécifiques du site en question.

Au Québec, afin de maximiser les réductions des émissions des GES à court terme (2020), le Comité sur la contribution du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques (2012) recommande de favoriser les projets qui se caractérisent par :

- l'utilisation de biomasse résiduelle (résidus de coupe et bois de post-consommation) dont les émissions liées à la production, le transport et la préparation sont faibles ou nulles;
- la production de chaleur et de cogénération;
- le remplacement de charbon et de produits pétroliers;
- l'analyse du cycle de vie complet du projet de biomasse (répartition dans le temps des GES).

3.3. La certification

Le développement de systèmes de certification encadrant les activités de récolte de biomasse pour l'énergie répond à une préoccupation envers la durabilité des pratiques. En effet, l'augmentation de la production et de la mise en marché de cette ressource supposent des impacts touchant les sphères environnementales, économiques et sociales. Ainsi, la certification apparaît comme un moyen de s'assurer que la production de biomasse est durable, c'est-à-dire que les impacts négatifs qui lui sont associés sont minimisés (Van Dam, 2008).

Dans un contexte forestier, la certification est une attestation indépendante, émise par une tierce partie, qui assure qu'un produit tiré de la forêt est généré à partir d'un territoire aménagé de façon durable (Hall, 2002; Van Dam, 2008). La certification comprend un ensemble de principes, de critères et d'indicateurs spécialement développés afin de mesurer l'aménagement durable des forêts (Lattimore et coll., 2009). Les principes sont les déclarations fondamentales sur un résultat souhaité, les critères sont les conditions nécessaires et suffisantes pour se conformer à un principe et les indicateurs permettent d'évaluer quand un critère est respecté (Business and Biodiversity Offsets Program [BBOP], 2012).

Actuellement, aucun système de certification assurant spécialement la production durable de la biomasse solide n'est disponible pour les forêts. Par contre, des efforts sont menés à l'échelle internationale afin de créer des critères et des indicateurs sur lesquels pourra s'appuyer le développement de ce type de certification à l'avenir (Stewart et coll., 2010). De plus, ce processus pourra se baser sur les systèmes de certification qui ont précédemment été conçus pour d'autres produits liés à l'énergie (Van Dam, 2008).

Les systèmes de certification forestière prennent en compte de nombreux types de couverts forestiers, de tenures, d'objectifs et de traitements de récolte (Stewart et coll., 2010). Toutefois, ils n'intègrent pas explicitement de critères et d'indicateurs touchant la production de biomasse pour la bioénergie, même si certains volets de ces systèmes pourraient lui être applicables. Dans cette optique, une des options afin d'assurer la certification de la biomasse forestière serait d'intégrer des éléments d'information relatifs à cette pratique aux critères et aux indicateurs des systèmes de certification d'aménagement forestier durable déjà en place (Lattimore et coll., 2009). Ces programmes de certification d'aménagement durable des forêts sont compatibles avec ceux de la bioénergie, à l'exception que les premiers ne prennent pas en considération les émissions de GES, la qualité de l'air et la sécurité alimentaire ni plusieurs des segments de la chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière (Gan et Cashore, 2013).

Ainsi, le *Forest Stewardship Council* (FSC) *International* et le *Program for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC) *International* sont les principales organisations parapluie de certification forestière à l'échelle internationale. Elles passent en revue et endossent des standards de certification nationaux qui rencontrent leurs propres standards de durabilité (Stewart et coll., 2010). Ces standards ont une structure hiérarchique qui s'articule notamment autour de principes, de critères et d'indicateurs qui servent à évaluer les pratiques des participants concernant des aspects environnementaux, sociaux et économiques (Stupak et coll., 2007; Lattimore et coll., 2009). Le SFI (*Sustainable Forestry Initiative*) et le CSA (*Canadian Standards Association*) sont deux exemples de systèmes de certification forestiers nationaux endossés par le PEFC (Stewart et coll., 2010). Le SFI n'inclut pas d'exigences spécifiques sur les émissions des GES, la qualité de l'air ou la sécurité alimentaire locale, mais le programme du SFI (2010-2014) contient des éléments sur la production de bioénergie à partir de la biomasse forestière, la séquestration de carbone et les changements climatiques (Gan et Cashore, 2013). Le CSA possède un critère qui traite directement de la biomasse. Il s'agit du critère 2 qui suggère le développement de lignes directrices pour la récolte de biomasse durable lorsqu'un organisme a l'intérêt de prélever la biomasse pour la production de bioénergie (Stewart et coll., 2011).

Plus globalement, la Table ronde sur les biocarburants durables (*Rountable on Sustainable Biofuels*, RSB), coordonnée par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse) a développé un standard de certification comprenant 12 principes et 37 critères appliqués sur quatre types d'opérateurs : les producteurs de biomasse forestière, les transformateurs de la biomasse, les producteurs de biocarburants et les mélangeurs (Stewart et coll., 2011). Ces principes ont été développés par une équipe multidisciplinaire incluant les compagnies de bioénergie, les producteurs de biomasse, les organisations de recherche, les gouvernements et les ONG. La « version 2 », laquelle est devenue effective en janvier 2011 (Gan et Cashore, 2013), concerne les biocarburants (p. ex., bioéthanol et biodiesel) ainsi que les produits solides de la biomasse (p. ex., copeaux et granules). Les principes et les critères de certification touchent la majorité des enjeux présentés dans ce guide. Par exemple, les aspects liés à la conservation (biodiversité, écosystèmes, etc.), à l'eau et aux sols sont considérés. Les aspects liés à l'émission des GES et à la qualité de l'air sont aussi pris en considération. De même, l'aspect social (bien-être et développement des communautés) et l'amélioration continue sont fortement mis en valeur dans ce standard pouvant prendre la fonction d'un système de certification (Roundtable on Sustainable Biofuels, 2011).

Un autre système de certification de la bioénergie est l'*International Sustainability and Carbon Certification* (ISCC) qui, avec ses 6 principes et 92 critères, concerne les biocarburants et les produits solides de la biomasse (International Sustainability and Carbon Certification [ISCC], 2011). Comme le RSB, il a été développé par différentes parties prenantes de la chaîne d'approvisionnement en bioénergie ainsi que des ONG. Les principes incluent des restrictions sur la production de biomasse dans des terres à haute valeur de conservation ou de stock de carbone, la protection du sol, de l'eau et de l'air et l'adoption de bonnes pratiques agricoles. De même, l'aspect social est traité (International Sustainability and Carbon Certification [ISCC], 2011).

Étant donné que l'on retrouve souvent les mêmes principes et critères entre les systèmes de certification d'aménagement durable des forêts et ceux de la production de bioénergie, Gan et Cashore (2013) suggèrent de coupler les deux systèmes de certification. Cela pourrait éviter le chevauchement d'information ainsi que diminuer les coûts de certification. De plus, l'expérience acquise des systèmes de certification d'aménagement durable des forêts pourrait accélérer la mise en place des programmes de certification de bioénergie. En outre, des barrières telles que la pratique du brûlage dirigé – souvent permise lors des opérations forestières pour la production de bois marchand, mais interdite lors de la récolte de résidus forestiers – contraignent l'arrimage des deux systèmes de certification.

À l'échelle internationale, la *Food and Agriculture Organization* (FAO) des Nations Unies exécute le programme *Sustainable Wood Energy System* (SWES) qui travaille sur la production de bioénergie issue de la biomasse (FAO, 2010). Le projet *Bioenergy and Food Security Criteria and Indicators* (BEFSCI) vise à développer des principes, des critères et des indicateurs pour la production durable de la bioénergie tout en maintenant la sécurité alimentaire (Stewart et coll., 2011). D'autres organisations internationales travaillent également sur la production durable de bioénergie :

- le *Global Bioenergy Partnership* (www.globalbioenergy.org);
- la Commission européenne : *Directive on renewable energy* et *EU Biomass Action Plan* (http://ec.europa.eu/energy/renewables/bioenergy/bioenergy_en.htm);
- la *International Energy Agency* (IEA) – *Bioenergy* (http://www.ieabioenergy.com/).

Ainsi, en Europe, le fait que l'importation de biomasse forestière soit en constante augmentation et qu'il existe un risque que cette biomasse soit produite de façon non durable, les principaux pays européens importateurs de biomasse ont commencé à établir des exigences nationales de durabilité pour la bioénergie. Cela a entraîné l'apparition de systèmes de certification (volontaires et obligatoires) (European Commission [EC], 2010). Par exemple, le projet *Solid Standards* rassemble les diverses parties prenantes (les producteurs, les commerçants et les utilisateurs finaux des biocarburants solides ainsi que les acteurs impliqués dans la normalisation et la certification) sous forme de sessions d'information pour ainsi augmenter leur capacité à mettre en œuvre des projets de biomasse de qualité, durables et certifiés. Enfin, le *Green Standard Certification Program* (GSCP) est une initiative de la *United Academy of Bussiness* (UAB)[2] qui spécifie les exigences pour les organismes pour le développement et la mise en œuvre d'approches vertes pour un environnement sûr, sain et vert qui offre des services et des produits verts à travers une entreprise durable. La certification se fait à travers les *Green Certificate* et les exigences sont évaluées suivant les normes internationales telles qu'ISO 14064-3, pour la quantification, la surveillance et les rapports de responsabilité sociale.

Au Canada, l'initiative gouvernementale la plus concrète dans l'optique d'un processus de certification de la biomasse forestière est le programme Écologo, un étiquetage environnemental lancé par le gouvernement du Canada en 1988. Le but du programme est de comparer les produits/services de même catégorie et d'élaborer des critères de certification afin d'accorder l'étiquette Écologo à ceux qui sont préférables écologiquement grâce à un processus d'évaluation

2. http://www.green-certificate.com/ (consulté le 21 août 2013).

et de vérification approfondies (Écologo, 2011). L'Écologo rassemble 122 groupes et critères de certification touchant 250 types de produits.

Par exemple, la norme sur la catégorie des produits de l'électricité renouvelable à faible impact fait l'objet du Document de critères DCC – 003. La norme prévoit des exigences à propos de la génération d'électricité. Pour satisfaire aux exigences de cette norme, les produits doivent provenir d'une électricité renouvelable à faible impact (électricité éolienne, hydraulique, produite au moyen de biomasse, etc.) générée en prenant notamment en compte des éléments relatifs à la survie d'espèces en péril ou menacées, à la consultation des parties prenantes, à l'utilisation et à la vocation des terres (biodiversité, valeurs culturelles, etc.), au contrôle des impacts environnementaux potentiels et à l'analyse des effets cumulatifs. La norme prévoit aussi, entre autres, des exigences de vérification pour s'assurer que les produits sont bien conformes à ces critères.

4. Conclusion

De nombreuses recherches portent actuellement sur les différents aspects de la mise en œuvre de la récolte de biomasse forestière dans les forêts boréales (techniques de récolte, équipement, transformation, produits, etc.). L'étude des impacts environnementaux du prélèvement des résidus forestiers est dorénavant, au même titre que les aspects plus techniques, au cœur des préoccupations des chercheurs, mais aussi de différentes juridictions qui ont à composer avec cette nouvelle pratique qui constitue un nouvel intrant sur le plan économique.

Grâce au développement de lignes directrices élaborées à l'aide des meilleures connaissances scientifiques disponibles, ces juridictions peuvent encadrer la pratique de récolte de la biomasse forestière. Ainsi, différents enjeux comme la biodiversité, l'eau et les zones riveraines, la productivité des sols, la productivité des peuplements et les émissions de CO_2 devraient être pris en compte. Premièrement, la participation du public est incontournable dans un processus d'identification des enjeux et des impacts en lien avec la récolte de biomasse. La participation du public permet de mettre en évidence les valeurs potentiellement conflictuelles et d'éviter des conflits futurs avec le public. De même, elle permet une meilleure conformité de la pratique avec les valeurs locales et régionales (André et coll., 2010). En effet, les acteurs présents sur le territoire sont souvent les mieux placés pour identifier les enjeux les plus importants et les impacts les plus plausibles étant donné leur connaissance du territoire.

Deuxièmement, la meilleure façon de mieux prendre en compte les enjeux et les impacts locaux est de tester et de valider les pratiques sur le terrain. En effet, bien que la modélisation puisse permettre de prédire les impacts potentiels de la récolte de biomasse sur l'environnement, les prédictions peuvent être sensiblement différentes des effets réels mesurés sur le terrain. La validation sur le terrain permet d'obtenir l'heure juste sur les impacts réels de la pratique en prenant en compte les conditions locales et d'améliorer notre capacité de prédiction des impacts futurs. Selon Stewart et coll. (2010), les essais sur le terrain peuvent aussi être complémentaires à la littérature scientifique en permettant de combler les failles sur des thèmes pour lesquels l'information n'est pas disponible. Dans le même ordre d'idées, bien que plusieurs caractéristiques des sites puissent être évaluées à partir des données cartographiques, comme la pente et les types de dépôt, il est nécessaire, avant de faire une prescription pour un site, de

procéder à une vérification sur le terrain afin de valider les informations cartographiées. Par exemple, un diagnostic de terrain peut permettre d'évaluer les aspects de sensibilité et de résilience du site par rapport aux enjeux de productivité du sol ou de biodiversité. Ainsi, il est possible de valider les données cartographiques, mais aussi de les préciser et de les compléter par des informations qui ne peuvent être obtenues qu'en effectuant une observation sur le terrain. De cette manière, les spécificités et les enjeux locaux sont mieux pris en compte et permettent une prise de décision plus éclairée.

La validation sur le terrain des informations obtenues grâce aux outils cartographiques et le suivi des effets réels des pratiques de récolte sont primordiaux pour le développement de prescriptions pour la récolte de biomasse qui sont bien ancrées dans les réalités locales et régionales. Cela assure le respect des caractéristiques physiques du territoire et des valeurs des communautés qui l'habitent. Les études et les visites de terrain deviennent ainsi des éléments-clés qui contribuent à supporter une exploitation durable de la biomasse forestière.

La participation du public et la validation de terrain constituent donc la base d'un développement harmonieux et durable de l'utilisation des résidus forestiers à l'échelle locale. Cette base permet de générer des informations fiables qui nous permettent de formuler des lignes directrices plus appropriées pour encadrer la pratique à plus grande échelle.

5. Bibliographie

Äijälä, O.; Kuusinen, M.; Halonen, M. 2005. Energy Wood Harvesting from Clearcuts, Guidelines for Finland. Traduit du finnois par FERIC, 8 p.

André, P.; Delisle, C.E.; Revéret, J.P. 2010. L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique pour un développement durable (3e éd.). Presses internationales polytechniques, Montréal.

Air Resources Board. 2009. Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard. Volume I. Staff Report : Initial Statement of Reasons. Sacramento, CA, 374 p.

Benjamin, J.G. 2010. Considerations and Recommendations for Retaining Woody Biomass on Timber Harvest Sites in Maine. University of Maine, Maine Agricultural and Forest Experiment Station. Orono, ME. Miscellaneous Publication 761. 68 p. [En ligne], [www.maine.gov/doc/mfs/pubs/biomass_retention_guidelines.html] (consulté le 6 août 2013).

Berch, S.M.; Morris, D.;Malcolm, J. 2011. Intensive forest biomass harvesting and biodiversity in Canada : A summary of relevant issues. The Forestry Chronicle 87(4):478–487.

Bielecki, J.; Ferris, J.; Kintigh, K.; Koss, M.; Kuhr, D.; Mackinnon, S.; Walters, M. 2012. Within-Stand Retention Guidance. Forest Resources Division, Michigan Department Of Natural Resources Mission Statement. Lansing, MI, 38 p.

Bird, D.N.; Pena, N.; Zanchi, G. 2012. Zero, one, or in between : evaluation of alternative national and entity-level accounting for bioenergy. GCB Bioenergy 4:576–587.

Brandtberg, P.-O.; Olsson, B.A. 2012. Changes in the effects of whole-tree harvesting on soil chemistry during 10 years of stand development. Forest Ecology and Management 277:150–162.

Brazee, N.J.; Lindner, D.L.; Fraver, S.; D'Amato, A.W.; Milo, A.M. 2012. Wood-inhabiting, polyporoid fungi in aspen-dominated forests managed for biomass in the U.S. Lake States. Fungal Ecology 5(5):600–609.

Brogan, S.; Gerow, T.; Gregory J.D.; Gueth, M.; Hamilton, R.; Hughes, K.M.; Swift, L. 2006. North Carolina Forestry Best Management Practices : Manual to Protect Water Quality. Amended September 2006. North Carolina Division of Forest Resources publication n° FM-08-01. Raleigh, NC, 137 p.

Business and Biodiversity Offsets Program (BBOP). 2012. Standard on Biodiversity Offsets. BBOP, Washington, D.C., 22 p.

Buttle, J.M.; Murray, C.D. 2011. Hydrological Implications of Forest Biomass Use. Final report prepared for Environment Canada, 51 p.

Cacot, E.; Eisner, N.; Charnet, F.; Leon, P.; Rantien, C.; Ranger, J. 2006. La récolte raisonnée des rémanents en forêt. Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Énergie. Angers, France. 37 p. [En ligne], [http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=4E7EC2AD002BB99C7800BA6E3C760221115392138 3574.pdf] (consulté le 6 août 2013).

The California Department of Forestry and Fire Protection. 2013. California Forest Practice Rules. Sacramento, CA, 340 p.

Comité sur la contribution du secteur forestier à la lutte contre les changements climatiques. 2012. Avis scientifique et technique — L'utilisation de la biomasse forestière pour réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant du Québec, Québec (Canada), 23 p.

DeHayes, D.H.; Shaberg P.G.; Hawley, G.J.; Strimbeck, G.R. 1999. Acid rain impacts on calcium nutrition and forest health. BioScience 49:789–800.

Department of Forests, Parks and Recreation. 2009. Acceptable Management Practices for Maintaining Water Quality on Logging Jobs in Vermont. Waterbury, VT, 51 p.

Duinker, P. 2003. Un guide sur l'empilement des rémanents d'exploitation favorise la régénération du peuplier faux-tremble dans les monts Duck, au Manitoba. Forêts de demain, Été 2003:7.

Écologo. 2011. DCC 003 : Produits de l'électricité renouvelable à faible impact version 2, [En ligne], [http://www.environmentalchoice.com/common/assets/criterias/normesccd003finalesnov2010_2_.pdf] (consultée le 2 février 2011).

Environmental European Agency. 2006. How Much Bioenergy Can Europe Produce without Harming the Environnment? Report No 7/2006. European Environment Agency. Copenhagen, Denmark, 67 p.

European Commission (EC). 2010. Rapport de la commission au conseil et au parlement européen sur les exigences de durabilité concernant l'utilisation de sources de biomasse solide et gazeuse pour l'électricité, le chauffage et le refroidissement. Bruxelles, Belgique, 20 p.

European Environment Agency. 2006. How Much Bioenergy Can Europe Produce Without Harming the Environment? Report No 7. Copenhagen, Denmark, 67 p.

European Environment Agency. 2010. EN20 Combined Heat And Power (CHP), [En ligne]. [www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/en-20-combined-heat-and/nbsp-en20] (consulté le 14 février 2012).

Evans, A.M.; Perschel, R.T.; Kitler, B.A. 2010. Revised Assessment of Biomass Harvesting and Retention Guidelines. Forest Guild. Santa Fe, NM, 36 p.

Fahey, T.J.; Hill, M.O.; Sevens, P.A.; Hornung, M.; Rowland, P. 1991. Nutrient accumulation in vegetation following conventional and whole-tree harvest of Sitka spruce plantations in North Wales. Forestry 64:271–288.

Fernholtz, K. 2009. Energy from Woody Biomass: A Review of Harvesting Guidelines and a Discussion of Related Challenges. Dovetail Partners Inc. Minneapolis, MN, 14 p.

Fleming, R.L.; Powers, R.F.; Foster, N.W.; Kranabetter, J.M.; Scott, D.A.; Ponder Jr., F.; Berch, S.; Chapman, W.K.; Kabzems, R.D.; Ludovici, K.H.; Morris, D.M.; Page-Dumroese, D.S.; Sanborn, P.T.; Sanchez, F.G.; Stone, D.M.; Tiarks, A.E. 2006. Effects of organic matter removal, soil compaction, and vegetation control on 5-year seedling performance: a regional comparison of long-term soil productivity sites. Canadian Journal of Forest Research 36(3):529-550.

Fleming, R.L.; Morris, D.M.; Hazlett, P.W. Assessing temporal response to forest floor removal: Evolving constraints on initial stand development. Soumis à Forest Science.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. Criteria and indicators for sustainable woodfuels. FAO Forestry Paper 160. Rome, Italie, 92 p.

Forest Guild Biomass Working Group. 2010. Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Northeast. Santa Fe, NM, 17 p.

Forest Guild Southeast Biomass Working Group. 2012. Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Southeast. Santa Fe, NM, 15 p.

Forest Research. 2009. Guidance on Site Selection for Brash Removal. The Research Agency of the Forestry Commission. Surrey, UK, 15 p.

Forestry Commission. 2003. Forests and Water Guidelines. UK Forestry Standard Guidelines. Edinburgh, UK, 66 p.

Gan, J.; Cashore, B. 2013. Opportunities and Challenges for Integrating Bioenergy into Sustainable Forest Management Certification Programs. Journal of Forestry 111:11–16.

Government of New Brunswick. 2008. Forest Biomass Harvesting. Fredericton, New Brunswick, [En ligne], [http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/nr-rn/pdf/en/Publications/FMB0192008.pdf] (consulté le 6 août 2013).

Haberl, H.; Sprinz, D.; Bonazountas, M.; Cocco, P.; Desaubies, Y.; Henze, M.; Hertel, O.; Johnson, R.K.; Kastrup, U.; Laconte, P.; Lange, E.; Novak, P.; Paavola, J.; Reenberg, A.; van den Hove, S.; Vermeire, T.; Wadhams, P.; Searchinger, T. 2012. Correcting a fundamental error in greenhouse gas accounting related to bioenergy. Energy Policy 45:18-23.

Hacker, J.J. 2005. Effects of Logging Residus Removal on Forest Sites. A Litterature Review. West Central Wisconsin Regional Planning Commission. Eau Claire, WI.

Hall, J.P. 2002. Sustainable production of forest biomass for energy. The Forestry Chronicle 78(3):391–396.

Hendrickson, O.Q. 1988. Biomass and nutrients in regenerating Woody Vegetation following whole-tree and conventional harvest in a northern mixed forest. Canadian Journal of Forest Researc, 18:1427–1436.

Hjerpe, K. 2008. Recommendations for Extraction of Logging Residues and Ash Recycling. Swedish Forest Agency, Directive. Jönköping, 31 p.

Hornbeck, J.W.; Martin, C.W.; Smith, C.T. 1986. Protecting Forest Streams During Whole-Tree Harvesting. Northern Journal of Applied Forestry 3:97–100.

Indiana Department of Natural Resources. N.d. Harvesting Biomass. A Guide to Best Management Practices. Indianapolis, IN, 13 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007 – Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 851 p.

International Sustainability and Carbon Certification (ISCC). 2011. Sustainability Requirements for the Production of Biomass, 39 p. [En ligne], [http://www.iscc-system.org/uploads/media/ISCC_EU_202_Sustainability_Requirements-Requirements_for_theProduction_of_Biomasse_2.3.pdf] (consulté le 28 octobre 2014).

Jackson C. R.; Sturm, C.A.; Ward, J.M.. 2001. Timber harvest impacts on small headwater stream channels in the coast ranges of Washington. Journal of the American Water Resources Association 37:1533–1549.

Janowiak, M.K.; Webster; C.R. 2010. Promoting Ecological Sustainability in Woody Biomass Harvesting. Journal of Forestry 108:16–23.

Jetté, J.; Robitaille, A.; Pâquet, J.; Parent, G. 1998. Guide des saines pratiques forestières dans les pentes du Québec. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Québec, 54 p.

Johnson, E. 2009. Goodbye to carbon neutral : Getting biomass footprints right. Environmental Impact Assessment Review 29(3):165–168.

Juutilainen, K.; Halme, P.; Kotiranta, H.; Mönkkönen, M. 2011. Size matters in studies of dead wood and wood-inhabiting fungi. Fungal Ecolog, 4(5):342–349.

Kentucky Division of Forestry. 2011. Recommendations for the Harvesting of Woody Biomass, 5 p. [En ligne], [http://forestry.ky.gov/Documents/Biomass%20Harvsting%20Recommendations%20Oct%202011.pdf] (consulté le 28 octobre2014).

Kerr, R.A. 2010. Do we have the energy for the next transition? Science 329(5993):780-781.

Klockow, P.A.; D'Amato, A.W.; Bradford, J.B. 2013. Impacts of post-harvest slash and live-tree retention on biomass and nutrient stocks in *Populus tremuloides* Michx.-dominated forests, northern Minnesota, USA. Forest Ecology and Management 291:278–288.

Landmann, G.; Gosselin, F.; Bonhême, I. (Coords.). 2009. Bio2, Biomasse et biodiversité forestière. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les resources naturelles. Paris, MEEDDM-Ecofor, 210 p. [En ligne], [http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Bio2_24juillet_Corr25sept2009.pdf] (consulté le 28 octobre 2014).

Lattimore, B.; Smith, C.T.; Titus, B.D.; Stupak I.; Egnell, G. 2009. Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Biomass and Bioenergy 33:1321–1342.

Laudon, H.; Sponseller, R.A.; Lucas, R.W.; Futter, M.N.; Egnell, G.; Bishop, K.; Agren A., Ring, E.; Högberg, P. 2011. Consequences of more intensive forestry for the sustainable management of forest soils and waters. Forests 2:243–260.

Lavoie, M.; Paré, D.; Fenton, N.; Taylor, K.; Groot, A.; Foster, N. 2005. Paludification and forest management in the Nothern Clay Section: a literature review. Natural Resources Canada, LAMF Technical Report No 1, 83 p.

Létourneau, J.-P.; Bard, A.; Lambert, J. 2003. Normes de cartographie écoforestière – troisième inventaire écoforestier. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers.

Levin, R.; Eriksson, H. 2010. Good-practice guidelines for whole-tree harvesting in Sweden: Moving science into policy. The Forestry Chonicle 86:51–56.

Lieffers, S.; Van Rees, K. 2000. Slash loading. A visual guide. Department of Soil Science. University of Saskatchewan, Saskatoon, 7 p.

Mann, L.K. 1984. First-year regeneration in upland hardwoods after two levels of residue removal. Canadian Journal of Forest Research 14:336–342.

Manuilova, A.; Johnston, M. 2011. Greenhouse Gas Emissions Assessment. The Substitution of Fossil Fuels with Woody Biomass in the Northwest Territories. Saskatoon, Sasketchewan Research Council, 90 p.

McInnis, B.G.; Roberts, M.R. 1994. The effects of full-tree and tree-length harvests on natural régénération. Northern Journal of Applied Forestry 11:131-137.

McKechnie, J.; Colombo, S.; Chen, J.; Mabee, W.; MacLean, H.L. 2011. Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. Environmental Science and Technology 45(2):789–795.

McLaughlin, S.B.; Wimmer, R. 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. New Phytologist 142:373–417.

Michigan Department of Natural Resources and Environment. 2010. Michigan Woody Biomass Harvesting Guidance. Forest Management Division, Lansing MI, 18 p. [En ligne], [http://www.michigan.gov/documents/dnr/WGBH_321271_7.pdf] (consulté le 6 août 2013).

Michigan Department of Natural Resources and Michigan Department of Environmental Quality. 2009. Sustainable Soil and Water Quality Practices on Forest Land, 82 p. [En ligne], [http://www.michigan.gov/documents/dnr/IC4011_SustainableSoilAndWaterQualityPracticesOnForestLand_268417_7.pdf] (consulté le 28 octobre 2014).

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 2006. Programme de connaissance des écosystèmes forestiers du Québec méridional : liste des types écologiques. Direction des inventaires forestiers, Service du développement, du support et de la diffusion, 18 p.

Minnesota Forest Resources Council. 2007. Biomass Harvesting Guidelines for Forestlands, Brushlands and Open Lands. St. Paul, MN, 42 p. [En ligne], [http://cemendocino.ucanr.edu/files/17407.pdf] (consulté le 6 août 2013).

Minnesota Forest Resources Council. 2012. Sustaining Minnesota Forest Resources : Voluntary Site-Level Forest Management Guidelines for Landowners, Loggers and Resource Managers. St. Paul, MN, 590 p. [En ligne], [http://mn.gov/frc/documents/council/site-level/MFRC_Revised%20Forest%20Management%20Guidelines%20 (2012) .pdf] (consulté le 28 octobre 2014).

Missouri Department of Conservation. 2010. Missouri Woody Biomass Harvesting Best Management Practices Manual. Jefferson City, MO, 43 p. [En ligne], [http://mdc.mo.gov/sites/default/files/resources/2010/09/woody_biomass_harvesting_bmp_book.pdf] (consulté le 6 août 2013).

Missouri Department of Conservation. 2006. Missouri Watershed Protection Practice. Management Guidelines for Maintaining Forest Watersheds to Protect Streams. Jefferson City, MO, 19 p. [En ligne], [http://mdc.mo.gov/sites/default/files/resources/2010/07/9331_6294.pdf] (consulté le 28 octobre 2014).

Morris, L.A.; Miller, R.E. 1994. Evidence for long-term productivity change as provided by field trials. *Dans* Impacts of Forest Harvesting on Long-Term Site Productivity. Edited by W.J. Dyck, D.W. Cole and N.B. Comerford. Chapman and Hall, London, UK, p. 41-80.

Nabuurs, G.J.; Masera, O.; Andrasko, K.; Benitez-Ponce, P.; Boer, R.; Dutschke, M.; Elsiddig, E.; Ford-Robertson, J.; Frumhoff, P.; Karjalainen, T.; Krankina, O.; Kurz, W.A.; Matsumoto, M.; Oyhantcabal, W.; Ravindranath, N.H.; Sanchez, M.J.; Zhang, X. 2007. Chapitre 9. Forestry. *In* Climate Change 2007 : Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Metz, B.; Davidson, O.R.; Bosh, P.R.; Dave, R.; Meyer, L.A. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 541–584.

NC State University. 2008. Sustainable Woody Biomass Harvesting: Minimizing Impacts. Raleigh, NC, 6 p.

New Brunswick Natural Resources. 2005. The New Brunswick Public Forest – Our Shared Future. Fredericton, NB, 10 p.

Nilsson, S.I.; Miller, H.G.; Miller, J.D. 1982. Forest growth as possible cause of soil and water acidification: an examination of the concepts. Oikos 39:40–49.

North Carolina Forest Service. 2014. North Carolina Forest Practices Guidelines Related to Water Quality (FPGs). Raleigh, NC, 4 p.

North East State Foresters Association (NEFA). 2012. A Review of Biomass Harvesting Best Management Practices Guidelines. Concord, NH, 42 p.

Oregon Forest Biomass Working Group (OFBWG). 2011. Wood-based Energy and Carbon Neutrality in Oregon. Salem, OR, 6 p.

Ouimet, R.; Duchesne, L. 2008. Impact combiné des précipitations acides et du prélèvement de biomasse forestière sur le maintien à long terme de la fertilité des sols : évaluation et cartographie des charges critiques. Direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 38 p.

Page-Dumroese, D.S.; Jurgensen, M.; Terry, T. 2010. Maintaining soil productivity during forest or biomass-to-energy thinning harvests in the Western United States. Western Journal of Applied Forestry 25(1):5–11.

Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources. N.d. Guidance on Harvesting Woody Biomass for Energy in Pennsylvania. Harrisburg, PA, 50 p. [En ligne], [http://www2.dnr.cornell.edu/ext/info/pubs/Energy/PA_Biomass_guidance_final.pdf] (consulté le 6 août 2013).

Proe, M.F.; Dutch, J.;Griffiths, J. 1994. Harvest residue effect on micro-climate, nutrition, and early growth of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) seedling on a restock site. New Zealand Journal of Forestry Science 24:390–401.

Proe, M.F.; Craig, J.; Dutch, J.; Griffiths, J. 1999. Use of vector analysis to determine the effects of harvest residues on early growth of second-rotation Sitka spruce. Forest Ecology and Management 122:87–105.

Puddister, D.; Dominy, S.W.J.; Baker, J.A.; Morris, D.M.; Maure, J.; Rice, J.A.; Jones, T.A.; Majumbar, I.; Hazlett, P.W.; Titus, B.D.; Fleming, R.L.; Wetzel, S. 2011. Opportunities and challenges for Ontario's forest bioeconomy. The Forestry Chronicle 87:468–477.

Repo, A.; Tuomi, M.; Liski, J. 2011. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvet residues. Global Change Biology Bioenergy 3 : 107–115.

Riffell, S.; Verschuyl, J.; Miller, D.; Wigley, T.B. 2011. Bioful harvest, coarse woody debris, and biodiversity – A meta-analysis. Forest Ecology and Management 261:878–887.

Righelato, R.; Spracklen, D.V. 2007. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? Science 317:902.

Ringius, G.S.; Sims, R.A. 1997. Plantes indicatrices des forêts canadiennes. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa, 217 p.

Roberts, S.D.; Harrington, C.A.; Terry, T.A. 2005. Harvest residue and competing vegetation affect soil moisture, soil temperature, N availabiity, and Douglas-fir seedling growth. Forest Ecology and Management 205:333–350.

Robitaille, A.; Allard, M. 2007. Guide pratique d'identification des dépôts de surface du Québec. Notions élémentaires de géomorphologie. Publications du Québec, Québec, 132 p.

Röser, D.; Asikainen, A.; Raulund-Rasmussen, K.; Stupak, I. (Eds.). 2008. Sustainable Use of Forest Biomass for Energy: A Synthesis with Focus on the Nordic and Baltic Region. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 259 p.

Roundtable on Sustainable Biofuels. 2011. Principles & Criteria, [En ligne], [http://rsb.epfl.ch/page-24929-en.html] (consulté le 6 mars 2011).

Saucier, J.-P.; Berger, J.-P.; D'Avignon, H.; Racine, P. 1994. Le point d'observation écologique, normes techniques. Ministère des Forêts du Québec, Service des inventaires forestiers, Québec, 116 p.

Schaberg, P.G.; DeHayes, D.H.; Hawley, G.J. 2001. Anthropogenic calcium depletion: a unique threat to forest ecosystem health? Ecosystem Health 7:214–228.

Schuck, A.; Meyer, P.; Lier, M.; Linder, M. 2004. Forest biodiversity indicator : Dead wood – A proposed approach towards operationalising the MCPFE Indicator. *In* Marco Marchetti (ed.), Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality. EFI Proceedings No. 51. Joensuu, Finlande, p. 49-77.

Scott, D.A.; Tiarks, A.E.; Sanchez, F.G.; Elliott-Smith, M.L.; Stagg, R. 2004. Forest soil productivity on southern long-term soil productivity sites at age 5. *Dans* Proceedings of the 12th Biennial Southern Silvicultural Research Conference. Édité par K.F. Conner. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SRS - 71. Asheville, NC, p. 372-377.

Scott, D.A.; Dean, T.J. 2006. Energy trade-offs between intensive biomass utilization, site productivity loss, and ameliorative treatments in loblolly pine plantations. Biomass and Bioenergy 30:1001–1010. [doi : 10.1016/j.biombioe.2005.12.014]

Shepard, J.P. 2006. Water quality protection in bioenergy production: the US system of forestry best management pratices. Biomass and Bioenergy 30:378–384.

South Carolina Forestry Commission. 2012. South Carolina's Best Management Practices. Forest Biomass Harvesting Recommendatione: A Supplement to South Carolina's Best Management Practices for Forestry. Columbia, SC, 12 p.

Staaf, H.; Olsson, B.A. 1991. Acidity in four coniferous forest soils after different harvesting regimes of logging slash. Scandinavian Journal of Forest Research 6:19–29.

Stevens, P.A.; Hornung, M. 1990. Effect of harvest intensity and ground flora establishment on inorganic-N leaching from a Sitka spruce plantation in north Wales, UK. Biogeochemistry 10:53–65.

Stewart, W.; Powers, R.F.; McGown, K.; Chiono, L.; Chuang T. 2010. Potential Positive and Negative Environmental Impacts of Increased Woody Biomass Use for California. Center for Forestry, College of Natural Resources, University of California, Berkeley, CA. DRAFT.

Stewart, W.; Powers, R.F.; McGown, K.; Chiono, L.; Chuang, T.; Spiegel, L. 2011. Final Project Report Potential Positive and Negative Environmental Impacts of Increased Woody Biomass Use for California. Department of Environmental Science, Policy, and Management, University of California, Berkeley, CA, 217 p.

Stupak, I.; Asikainen, A.; Jonsell, M.; Karltun, E.; Lunnan, A.; Mizaraite, D.; Pasanen, K.; Pärn, H.; Raulund-Rasmussen, K.; Röser, D.; Schroeder, M.; Varnagiryte, I.; Vilkriste, L.; Callesen, I.; Clarke, N.; Gaitnieks, T.; Ingerslev, M.; Mandre, M.; Ozolincius, R.; Saarsalmi, A.; Armolaitis, K.; Helmisaari, H.-S.; Indriksons A.; Kairiukstis, L.; Katzensteiner, K.; Kukkola, M.; Ots, K.; Ravn, H.P.; Tamminen, P.. 2007. Sustainable utilisation of forest biomass for energy – Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, recommandations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. Biomass and Bioenergy 31:666–684.

Sustainable Forestry Initiative Inc. 2004. Sustainable Forestry Initiative ® Standard (SFIS) – 2005-2009. Arlington, VA, 25 p.

Sutherland, B.J.; Foreman, F.F. 1995. Biological factors used to select mechanical site preparation equipment. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, Ontario. Frontline Technical Note 35, 4 p.

Thiffault, E.; Paré, D.; Bélanger, N.; Munson, A.; Marquis, F. 2006. Harvesting intensity at clear-felling in the boreal forest: impact on soil and foliar nutrient status. Soil Science Society of America Journal 70:691–701.

Thiffault, E.; Paré D.; Brais, S.; Titus, B.D. 2010. Intensive biomass removals and site productivity in Canada: A review of relevant issues. The Forestry Chronicle 86:36–42.

Thiffault, E.; Hannam, K.D.; Paré, D.; Titus, B.D.; Hazlett, P.W.; Maynard, G.; Brais, S. 2011. The effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forest – A review. S. Environ. Rev. 19:278-309.

Toivanen, T.; Markkanen, A.; Kotiaho, J.S.; Halme, P. 2012. The effect of forest fuel harvesting on the fungal diversity of clear-cuts. Biomass and Bioenergy 39:84–93.

Trottier-Picard, A.; Thiffault, E.; DesRochers, A.; Paré D.; Thiffault, N.; Messier, C. 2014. Amounts of logging residues affect planting microsites : A manipulative study across northern forest ecosystems. For. Ecol. Manage. 312:203-215.

Van Breemen, N.; Mulder, J.; Driscoll, C.T. 1983. Acidification and alkalinization of soils. Plant Soil 75:283–308.

Van Dam, J.; Junginger, M.; Faaij, A.; Jürgens, I.; Best, G.; Fritsche, U. 2008. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. Biomass and Bioenergy 32:749–780.

Waters, I.; Kembel, S.W.; Gingras, J.-F.; Shay, J.M. 2004. Short-term effects of cut-to-length versus full-tree harvesting on conifer regeneration in jack pine, mixedwood, and black spruce forests in Manitoba. Canadian Journal of Forest Research 34:1938–1945.

Wilhelm, K.; Rathsack, B.; Bockheim, J. 2013. Effects of timber harvest intensity on macronutrient cycling in oak-dominated stands on sandy soils of northwest Wisconsin. Forest Ecology and Management 291:1–12.

Wisconsin Department of Natural Resources. 2008. Wisconsin's Forestland Woody Biomass Harvesting Guidelines. Madison. Wisconsin. 9 p. [En ligne], [http://council.wisconsinforestry.org/biomass/pdf/BHG-FinalizedGuidelines12-16-08.pdf] (consulté le 6 août 2013).

Wisconsin Department of Natural Resources. 2010. Best Management Practices for Water Quality. Madison, WI, 162 p.

Wisconsin Departement of Natural Resources. 2013. Silviculture and Forest Aesthetics Handbook. Madison, WI, 738 p.

Work, T.T.; Klimaszewski, J.; Thiffault, E.; Bourdon, C.; Paré, D.; Bousquet, Y.; Venier, L.; Titus, B. 2013. Initial responses of rove and ground beetles (Coleoptera, Staphylinidae, Carabidae) to removal of logging residues following clearcut harvesting in the boreal forest of Quebec, Canada. ZooKeys 52(258):31–52.

Zabowski, D.; Java B.; Scherer, G.; Everett, R.L.; Ottmar, R. 2000. Timber harvesting residue treatment : Part 1. Responses of conifer seedlings, soils and microclimate. Forestry Ecology and Management 126:25–34. [doi : 10.1016/S0378-1127 (99)00081-X]

Annexe 1 : Recommandations sur la récolte de biomasse par les différentes juridictions

Biodiversité et bois mort

États américains	
Caroline du Sud	Référer au document : *Forest Biomass Harvesting Recommendations : A Supplement to South Carolina's Best Management Practices for Forestry* (South Carolina Forestry Commission, 2012) Éviter les zones sensibles (p. ex., sources d'eau, suintement et habitats uniques) Retenir la quantité suffisante de feuilles, branches et débris afin de fournir de la matière organique Dans les sites propices, utiliser la récolte de biomasse pour maîtriser la végétation et renforcer l'habitat des espèces rares, menacées ou en danger Retenir trois chicots par acre quand ceux-ci sont disponibles et que cela est compatible avec les exigences et la sécurité de l'OSHA Conserver des débris ligneux au sol de tailles et de classes de décomposition variées. Il est recommandé de laisser au moins 1 tonne par acre de débris ligneux grossiers Planifier la récolte de biomasse pour le maintien de différents types d'habitats et de classes d'âge sur la propriété aménagée
Indiana	Référer au document : *Harvesting Biomass. A Guide to Best Management Practices* (Indiana Department of Natural Resources n.d.) Limiter ou éviter la récolte de biomasse (billes) au sein des communautés naturelles de haute qualité ou dans des sites sensibles Éviter la récolte de biomasse près des espèces menacées ou en danger qui figurent sur la liste fédérale, ou les espèces ayant besoin d'une conservation majeure, à moins que le prélèvement favorise les habitats pour les espèces Retenir le bois mort au sol qui est présent sur le site avant le début de l'opération de récolte. Limiter la perturbation de débris ligneux grossiers existants (billes, bois sur pied et chicots) Les chicots doivent seulement être abattus que lorsqu'ils posent des problèmes de sécurité. Dans le cas où ils sont abattus, ils doivent être retenus sur le site Retenir les souches, les racines et la litière Distribuer les houppiers et les branches sur le site pour assurer l'apport de nutriments. Retenir des petites piles de rémanents peut favoriser l'habitat de certaines espèces

	Éviter la récolte de la biomasse dans les bandes riveraines, en dehors des houppiers et des branches des arbres qui seraient prélevés durant la récolte sous les lignes directrices de l'aménagement des bandes riveraines et des BMPs Protéger les habitats sensibles et uniques (suintements de printemps, bassins vernaux et étangs, falaises et corniches et les entrées de grottes). De façon générale, la récolte de biomasse près de ces sites doit être évitée Éviter la récolte de biomasse dans les réserves et dans les îlots présentant des arbres sur pied au sein de vastes ouvertures de régénération
Kentucky	Référer au document : *Recommendations for the Harvesting of Woody Biomass* (Kentucky Division of Forestry, 2011) Lorsque cela est possible, les opérations de récolte de biomasse doivent se réaliser conjointement avec la récolte conventionnelle ou les autres activités d'aménagement, afin de minimiser le compactage du sol et d'autres effets nuisibles à la productivité du site, à la qualité et à la quantité d'eau, aux habitats fauniques et d'autres influences sur l'environnement liées à la durabilité des forêts La récolte de biomasse doit éviter ou minimiser le prélèvement de résidus sur les pentes abruptes avec des sols hautement érodables et les autres sites sensibles, comme les habitats pour les espèces menacées ou en danger, les zones d'importance particulière, les réserves naturelles, les prairies et les zones humides S'assurer de laisser suffisamment de débris ligneux pour maintenir la productivité du site et la diversité des habitats fauniques. Le *Kentucky Division of Forestry* et le *Kentucky Department for Fish and Wildlife Resources* recommandent de laisser entre 15 et 30 % de débris ligneux (houppiers et billes de pied) distribués à travers le parterre de coupe La récolte de biomasse peut affecter positivement certaines populations fauniques en même temps qu'elle en affecte négativement d'autres. Retenir les principales caractéristiques structurelles (chicots, arbres à cavité et débris ligneux grossiers) Les activités de récolte susceptibles de détruire les habitats des espèces fédérales menacées ou en danger sont interdites par la *Endangered Species Act* de 1973 et peuvent être passibles de pénalités civiles ou criminelles
Maine	Référer au document : *Woody Biomass Retention Guidelines. Considerations and Recommendations for Retaining Woody Biomass on Timber Harvest Sites in Maine* (Benjamin, 2010) Conserver le plus possible de bois mort (débris ligneux fins, débris ligneux grossiers, billes et chicots) Conserver des arbres vivants (qui ont des cavités et de la carie) Conserver les arbres semenciers (espèces feuillues) Conserver le patrimoine biologique dans des zones tampons et des bouquets

	Conserver le plus possible de chicots Conserver le plus possible de débris ligneux fins et débris ligneux grossiers préexistants Conserver la litière, les souches et les racines les plus intactes possible
Michigan	Référer au document : *Within-Stand Retention Guidance (IC 4110)* (Bielecki et coll., 2012) Éviter ou limiter la récolte dans les régions qui ont une grande valeur de conservation et sur les sites sensibles Éviter la récolte près des milieux de vie des espèces menacées, en danger, ou qui doivent être protégées Conserver des débris ligneux grossiers et des chicots de différentes tailles, classes de décomposition et d'espèces d'arbres Conserver de 17 à 33 % des résidus de récolte (houppiers et branches < 4 po de diamètre) Conserver le plus possible de débris dans les peuplements qui contiennent peu de débris ligneux avant la récolte Conserver le plus possible de débris ligneux grossiers préexistants Éviter le prélèvement de la couverture morte, de la litière, des souches et des racines
Minnesota	Référer au document : *Biomass Harvesting Guidelines for Forestlands, Brushlands and Open Lands* (Minnesota Forest Resources Council, 2007) Conserver 20 % des buissons et des petits arbres coupés et laissés sur le site Conserver autant de chicots que possible, éviter des activités de récolte dans les bouquets d'arbres feuillus Éviter la récolte de biomasse dans les sites où vivent les espèces fauniques et floristiques en danger ou menacées Conserver les piles de rémanents qui sont utilisées par les espèces fauniques et floristiques Conserver la couverture morte, la litière, le système racinaire et les souches Conserver autant de débris ligneux grossiers et de débris ligneux fins que de billes que p Conserver tous les chicots si c'est possible Conserver environ 30 % des résidus de récolte (20 % des résidus de récolte et de 10 à 15 % additionnel de débris ligneux fins provenant de bris accidentels)

Missouri	Référer au document : *Missouri Woody Biomass Harvesting Best Management Practices Manual* (Missouri Department of Conservation, 2010) Éviter la récolte dans les forêts à haute valeur de conservation (*High Conservation Value Forests*) Conserver des arbres semenciers de différentes espèces et tailles Conserver de 7 à 25 arbres à cavités et de 6 à 12 chicots par acre Éviter les bordures nettes en créant une transition graduelle dans la région récoltée Créer des corridors de migration dans les grandes coupes (> 40 acres) Conserver un minimum de 33 % des résidus de récolte Conserver le plus possible de débris ligneux fins Conserver les débris ligneux de plusieurs espèces d'arbres et de plusieurs tailles, avec une emphase sur les plus grandes structures Éviter le prélèvement de tous les débris ligneux grossiers Conserver de 6 à 12 chicots selon le type de végétation
Nord-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Northeast* (Forest Guild Biomass Working Group, 2010) Éviter la récolte de biomasse dans les forêts types en péril (p. ex., globalement reconnues ou listées comme S1 ou S2 dans un Programme d'héritage national de l'État). La gestion de ces forêts types doit se faire à partir du Programme naturel d'héritage local ou d'autres experts locaux en écologie La restauration des sites où la récolte de biomasse peut être appropriée (maîtrise de la végétation, amélioration des habitats critiques ou réduction des risques de feux) doit suivre des objectifs écologiques et non seulement viser l'approvisionnement en biomasse Protéger les peuplements anciens de la récolte sauf quand cela est nécessaire pour le maintien de la structure ou les fonctions écologiques Conserver et protéger la couverture morte, la litière, les racines, les souches et une large proportion de débris ligneux grossiers Conserver et protéger les arbres à cavité vivants ou en décomposition, les chicots (p. ex., arbres morts sur pied > 10 po). Laisser sur place les chicots qui sont abattus pour des raisons de sécurité Sélectionner et identifier les arbres vivants de structure future quand il n'existe pas de structure

	Conserver tous les chicots et les arbres en décomposition quand il s'agit de forêts perturbées (épidémies, chablis et tempêtes de verglas) peut être pas faisable. Lorsqu'une zone est récupérée, laisser des îlots couvrant entre 5 et 10 % de la surface totale. Dans certains cas, l'augmentation des populations d'insectes sur les arbres morts peut limiter la conservation d'îlots non récupérés Conserver une variété d'espèces d'arbres comme chicots, des débris ligneux grossiers et des gros arbres abattus Laisser et ne pas couper les îlots à l'intérieur ou à côté de chaque 10 acres de régénération dans les zones à structure équienne. Les îlots non récoltés (incluant les bandes riveraines tampons) doivent représenter un total de 5 à 15 % de la surface récoltée Conserver des îlots autour des arbres d'abri ou à cavités, des grands chicots, et des grands arbres au sol pour maximiser la structure et la diversité des habitats L'aménagement visant à maintenir des étages multiples de végétation peut être bénéfique pour la diversité d'espèces fauniques et floristiques
Vermont	Référer au document : *Acceptable Management Practices for Maintaining Water Quality on Logging Jobs in Vermont* (Department of Forests, Parks, and Recreation, 2009) Peu d'information existe dans le guide sur la récolte de biomasse. Une des réglementations demande un permis lorsqu'il s'agit de coupes totales supérieures à 40 acres (*Title 10 V.S.A. Chapter 83, Section 2622*). Une autre réglementation oblige les abatteuses d'arbres entiers pour l'obtention de copeaux d'avoir un permis (*Title 10 V.S.A. Chapter 83, Section 2648*). La création d'un groupe de travail pour le développement énergétique de la biomasse en 2009 – le sous-groupe de Santé des forêts –, travaille notamment sur l'élaboration de lignes directrices quant à la rétention de biomasse, sur les indicateurs de santé forestière et sur la recherche de l'enjeu carbone
Pennsylvanie	Référer au document : *Guidance on Harvesting Woody Biomass for Energy in Pennsylvania* (Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources, n.d.) Protéger les habitats sensibles (sources, zones riveraines, grottes, falaises, étangs et mares) Protéger les arbres à cavité, les chicots, les arbustes producteurs de nourriture et les vignes Développer des plans d'aménagement spécifiques pour les zones uniques Éviter de perturber les espèces en danger, menacées ou rares. Les pratiques devraient protéger ou augmenter le nombre d'habitats Conserver entre 15 et 30 % des résidus de récolte Conserver les rémanents pendant les récoltes de bois conventionnel

	Conserver de 2 à 5 billes non commerciales par acre Conserver de 1 à 5 chicots par acre
Sud-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Southeast* (Forest Guild Southeast Biomass Working Group, 2012) Éviter la récolte de biomasse dans les forêts types en péril (p. ex., globalement reconnues ou listées comme S1 ou S2 dans un Programme d'héritage national de l'État). La gestion de ces forêts types doit se faire à partir du Programme naturel d'héritage local ou d'autres experts en écologie locaux La restauration des sites où la récolte de biomasse peut être appropriée (maîtrise de la végétation, amélioration des habitats critiques ou réduction des risques de feux) doit suivre des objectifs écologiques et non seulement viser l'approvisionnement en biomasse. Dans les écosystèmes adaptés au brûlage dirigé, y compris de nombreuses forêts du Sud-Est, moins de biomasse récoltable sera disponible quand le brûlage est un processus écologique actif. Toutefois, quand le brûlage est exclu, la récolte de biomasse peut devenir cruciale pour la réintroduction sécuritaire du brûlage dirigé Protéger les peuplements anciens de la récolte sauf quand cela est nécessaire pour le maintien de la structure ou les fonctions écologiques Conserver et protéger les racines, les souches et les débris ligneux grossiers au sol Conserver et protéger les arbres à cavité, d'abri, autres arbres en décomposition et chicots, de préférence les plus gros. Laisser sur place les chicots qui sont abattus pour des raisons de sécurité Sélectionner et identifier les arbres vivants de structure future quand il n'existe pas de structure Conserver une variété d'espèces d'arbres comme chicots, des débris ligneux grossiers et des gros arbres abattus Conserver tous les chicots et les arbres en décomposition quand il s'agit de forêts perturbées (épidémies, chablis et tempêtes de verglas) peut être pas faisable. Lorsqu'une zone est récupérée, suivre les indications mentionnées au Tableau 1
Wisconsin	Référer au document : *Silviculture and Forest Aesthetics Handbook* (Wisconsin Departement of Natural Resources, 2013) Conserver une variété d'arbres et de buissons semenciers Éviter la récolte sur les sites où des espèces en danger ou menacées ont été identifiées par le gouvernement fédéral ou l'État Protéger les forêts à grande valeur de conservation (*High Conservation Value Forests*), les écosystèmes sensibles et les espèces associées à de plus grands besoins de conservation

	Conserver et limiter les perturbations des débris ligneux grossiers et des débris ligneux fins préexistants Conserver 10 % des résidus de récolte (houppiers et branches < 4 po de diamètre) et une quantité additionnelle de 10 à 15 % de débris ligneux fins est attendue pour les bris accidentels Ne pas prélever la litière, les souches ou le système racinaire Conserver les chicots selon les règles directrices (*WI DNR Silviculture Handbook, chapitre 24*) Le but ultime est de maintenir 5 tonnes sèches de débris ligneux fins par acre récolté
Californie	Référer au document : *A Review of Biomass Harvesting Best Management Practices Guidelines* (North East State Foresters Association, 2012) Même si la Californie ne possède pas de normes spécifiques sur la récolte intensive de biomasse, les réglementations existantes abordent tous les sujets du prélèvement de la biomasse forestière (Annexe I). À titre d'exemple, le *California Forest Practice Rules* fait le point sur l'importance de conserver les chicots, les arbres d'abri et de nidification pour le maintien des habitats et de la santé de la forêt, en dehors des sites ayant des conditions spécifiques sur la sécurité les feux, les insectes et les épidémies
Europe	
Communauté européenne	Référer au document : *How Much Bioenergy Can Europe Produce Without Harming the Environment?* (European Environment Agency, 2006) Augmenter la part d'aires protégées : une réduction des aires disponibles pour la production de bois de 5 % par chaque pays membre pour permettre une augmentation des aires protégées Augmenter la part de bois mort : une mise de côté de 5 % du volume du bois (individus et petits groupes de rétention d'arbres) après la récolte pour augmenter la quantité d'arbres à large diamètre et de bois mort Aucune intensification de l'utilisation n'est possible dans les aires forestières protégées
Danemark	Référer au document : *Revised Assessment of Biomass Harvesting and Retention Guidelines* (Evans et coll., 2010) La récolte dans les peuplements qui ont une valeur particulière pour la faune et la flore et qui ne sont pas aménagés principalement pour la production de bois est permise, mais seulement après une évaluation minutieuse La récolte dans les zones de conservation de la nature (*Nature Conservation Areas*) est possible sauf si elle entre en contradiction avec les objectifs de conservation de la nature

Finlande	Référer au document : *Energy Wood Harvesting from Clearcuts, Guidelines for Finland* (Äijälä et coll., 2005) Laisser le bois mort en forêt et éviter d'endommager les arbres en régénération pendant la récolte Laisser des feuillus qui ne menacent pas les arbres d'avenir (tremble, aulne commun, saule commun et feuillus de valeur) pour améliorer les habitats fauniques et floristiques Éviter les habitats de valeur pendant la récolte et l'éclaircie. Les souches ne sont pas récoltées dans ces zones Éviter d'endommager les fourmilières et les nids des mammifères et des oiseaux Protéger les caractéristiques importantes de la diversité des habitats d'importance spéciale dans les forêts. Référer aux documents : *Finnish Conservation Act, Finnish Forest Act, Finnish Forest Certification System Standard, Forest Management Recommendations* Les arbres morts de grand diamètre (sur pied ou au sol) et les arbres tombés sous l'effet du vent ne devraient pas être récoltés ni endommagés pendant la récolte Conserver les souches en décomposition : toutes les souches avec un diamètre > 15 cm; 25 % des souches avec un diamètre > 15 cm de la plus récente récolte (biodiversité) Conserver toutes les souches dans les zones suivantes : les pentes fortes; les sols rocheux avec des sols fins (< 0,5 m d'épaisseur); les zones très rocheuses; les zones tampons riveraines; les sites d'intérêt naturel ou culturel; les petites cuvettes humides; à l'intérieur de 3 m des arbres restants (peut aussi s'appliquer à l'enjeu biodiversité et bois mort et à l'enjeu protection de l'eau et des zones riveraines)
Royaume-Uni	Référer au document : *Forests and Water Guidelines* (Forestry Commission, 2003) Assurer une rétention suffisante de bois mort pour les espèces fauniques et floristiques. Cette recommandation devrait être incluse dans le processus normal de planification du site qui devrait identifier une zone définie sur le site où le bois mort est laissé sur pied ou sur le sol. S'il est conservé au sol, il doit être clairement séparé des rémanents Le bois mort de grande taille (> 10 cm) doit être laissé pendant le prélèvement des résidus de coupe; le bois provenant des pins et des feuillus est le plus important biologiquement Récolter seulement la biomasse des résidus de coupe des espèces les plus communes dans le peuplement
Suède	Référer au document : *Recommendations for Extraction of Logging Residues and Ash Recycling* (Hjerpe, 2008)

	Quand les résidus de coupe sont prélevés, il est important que les arbres, les buissons et le bois mort qui ont été préservés pour des considérations environnementales naturelles et culturelles ne soient pas endommagés Les forêts qui ont une grande valeur naturelle – par exemple les forêts qui poussent sur des terres humides et les biotopes clés – doivent être exclues du prélèvement des résidus de coupe si la valeur naturelle peut être endommagée L'extraction des résidus de coupe doit inclure seulement les espèces d'arbres les plus communes dans le paysage Au moins 1/5 des résidus de coupe doit être laissé dans l'aire de coupe à blanc, préférablement dans les endroits qui sont exposés au soleil. Il est spécialement important de laisser les houppiers, les branches à gros diamètre et le bois mort qui provient des arbres feuillus, de même que les houppiers des pins Le prélèvement des résidus de coupe et le recyclage des cendres doivent être évités dans les biotopes sensibles et pendant les périodes où la vie animale peut être menacée Dans les zones où l'élevage de rennes est pratiqué, l'extraction des résidus de coupe doit être évitée dans les forêts à grandes valeurs qui contiennent des lichens suspendus aux arbres
Canada	
Nouveau-Brunswick	Référer au document : *The New Brunswick Public Forest – Our Shared Future* (New Brunswick Natural Resources, 2005) Les forêts publiques du Nouveau-Brunswick doivent être aménagées de façon durable pour s'assurer que les objectifs créés pour la diversité, la production de bois, les habitats fauniques et floristiques, les cours d'eau et les terres humides soient atteints.

Protection de la qualité de l'eau et des zones riveraines

États américains	
Caroline du Nord	Référer aux documents : *North Carolina Forest Practices Guidelines Related To Water Quality (FPGs)* (North Carolina Forest Service 2014); *North Carolina Forestry Best Management Practices : Manual to Protect Water Quality. Amended September 2006* (Brogan et coll., 2006) et *Sustainable Forestry Initiative® Standard (SFIS) – 2005-2009 Standard, Objectives 4, 5, 6* (Sustainable Forestry Initiative Inc., 2004) Mettre en œuvre les saines pratiques d'aménagement pour la protection de la qualité de l'eau et suivre les lignes directrices de pratiques forestières pour la protection de la qualité de l'eau Choisir l'équipement approprié aux particularités du site, particulièrement dans les zones humides et riveraines

	Minimiser la fréquence de récolte de biomasse et le retour sur le site avec des équipements de récolte Protéger les lacs, les cours d'eau et les zones riveraines avec des zones tampons Localiser adéquatement les routes, les jetées et les zones d'empilement, hors des zones riveraines Restreindre la récolte pendant les périodes humides
Caroline du Sud	Référer au document : *Forest Biomass Harvesting Recommendations : A Supplement to South Carolina's Best Management Practices for Forestry* (South Carolina Forestry Commission, 2012) Ne pas prélever la végétation de sous-étage ou d'autres formes de biomasse de la zone primaire d'aménagement des berges (*primary streamside management zone*) sur les cours d'eau permanents ou intermittents, en dehors de celles permises par les saines pratiques d'aménagement Éviter l'empilement ou l'entassement de copeaux ou de matériaux fins dans les zones d'aménagement spéciales et prévenir la contamination des cours d'eau par ce matériel Utiliser des méthodes de stabilisation alternatives comme les semis, la paille, les bottes de foin, les clôtures anti-érosion et des tissus pour le contrôle de l'érosion là où les résidus ne sont pas suffisants pour prévenir l'érosion Éviter le prélèvement des souches, du système racinaire, de la litière de feuilles (*leaf litter*) et du sol forestier (*forest floor*) pour la biomasse Limiter le prélèvement de biomasse sur les pentes de plus de 20 % pour réduire le risque d'érosion Éviter la récolte de biomasse qui expose le sol minéral sur les pentes abruptes (> 30 %) ou les sites grandement à risque d'érosion
Indiana	Référer au document : *Harvesting Biomass. A Guide to Best Management Practices* (Indiana Department of Natural Resources, n.d.) Respecter les deux principes suivants : - plus la pente est abrupte, plus il est nécessaire de laisser une quantité importante de matériel; - plus la récolte de biomasse est effectuée près d'un cours d'eau, plus il est nécessaire de laisser du matériel Les pentes abruptes et les sols minces sont facilement perturbés et érodés, donc il est nécessaire de conserver le plus possible de couvert forestier pour minimiser l'exposition du sol et la compaction dans ces endroits Conserver le plus possible les souches, le système racinaire et la litière forestière (*forest litter layer*) pour maintenir la structure du sol, surtout sur les berges des cours d'eau et les autres zones à risque d'érosion

	Éviter la récolte de biomasse dans les zones d'aménagement riveraines (*riparian management zones*), excepté les houppiers et les branches des arbres normalement prélevés lors de la récolte de bois encadrée par les lignes directrices de zones d'aménagement riveraines et par les saines pratiques d'aménagement Protéger les zones sensibles et uniques comme les sources printanières, les bassins vernaux et les dolines. La récolte de biomasse doit être évitée près de ces sites
Kentucky	Référer au document : *Recommendations for the Harvesting of Woody Biomass* (Kentucky Division of Forestry, 2011) Toute la récolte commerciale doit respecter les exigences de récolte du Kentucky et les saines pratiques d'aménagement en conformité avec le *Kentucky Forest Conservation Act* et les saines pratiques sylvicoles dans le *Kentucky Agriculture Water Quality Act* Les opérations de récolte de biomasse forestière doivent être complétées conjointement à une récolte traditionnelle ou à d'autres activités de récolte afin de minimiser le compactage des sols et d'autres effets nuisibles sur la productivité des sites, la qualité de l'eau, les habitats fauniques et d'autres enjeux environnementaux liés à la durabilité de la forêt Les forêts feuillues se régénèrent grâce aux rejets de souches et aux semis (régénération naturelle ou artificielle); de ce fait, le deuxième passage de récolte de biomasse après une récolte conventionnelle devrait avoir lieu durant les 5 années qui suivent la récolte Le prélèvement des souches, du système racinaire et de la litière du sol est déconseillé afin de maintenir la productivité du site pour la régénération et la croissance d'une nouvelle forêt La planification des opérations de récolte pour éviter de couper lorsque le sol est humide et la concentration des trajets des équipements peuvent prévenir les impacts évitables comme le compactage et l'orniérage qui dégradent la productivité du site Le prélèvement de biomasse a le potentiel d'augmenter le ruissellement de surface et de sous-surface de l'eau en réponse aux perturbations du sol, de l'érosion et de l'écoulement fluvial La récolte de biomasse doit éviter ou minimiser le prélèvement de résidus sur les pentes abruptes avec des sols hautement érodables et les autres sites sensibles, comme les habitats pour les espèces menacées ou en danger, les zones d'importance particulière, les réserves naturelles, les prairies et les zones humides
Maine	Référer au document : *Woody Biomass Retention Guidelines. Considerations and Recommendations for Retaining Woody Biomass on Timber Harvest Sites in Maine* (Benjamin, 2010) Minimiser les perturbations du sol

	La biomasse ligneuse peut être utilisée pour contrôler la circulation de l'eau, prévenir l'érosion du sol et stabiliser les sols exposés; ces structures peuvent être laissées en place après la récolte
Michigan	Référer au document : *Sustainable Soil and Water Quality Practices of Forest Land Manual (IC 4011)* (Michigan Department of Natural Resources, 2010, and Michigan Department of Environmental Quality, 2009) Le document *Woody Biomass Harvesting Guidance* du Michigan ne prend pas en compte spécifiquement les mesures de protection de la qualité liées à la récolte de biomasse forestière
Minnesota	Référer au document : *Sustaining Minnesota Forest Resources : Voluntary Site-Level Forest Management Guidelines for Landowners, Loggers and Resource Managers* (Minnesota Forest Resources Council, 2012) Éviter le prélèvement de biomasse des zones d'aménagement riveraines ou à l'intérieur de 25 pieds d'une plaine inondable (une récolte de bois rond est acceptable selon les lignes directrices existantes)
Missouri	Référer au document : *Missouri Watershed Protection Practice. Management Guidelines for Maintaining Forest Watersheds to Protect Streams* (Missouri Department of Conservation, 2006) Mettre en place des zones d'aménagement d'au moins 50 pieds de largeur sur les rives des cours d'eau sur tous les cours d'eau permanents et intermittents Conserver au moins 33 % des arbres dans la zone d'aménagement des rives, 40 pieds^2 de surface terrière Éviter l'utilisation d'équipements lourds Conserver la majorité de la végétation dans la zone d'aménagement riveraine
Nord-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Northeast* (Forest Guild Biomass Working Group 2010) La rétention de bois mort est importante pour la qualité de l'eau, parce que ce dernier réduit le ruissellement et permet de retenir l'eau Laisser et protéger le matériel ligneux existant dans les cours d'eau. Le bois mort dans les systèmes riverains offre des zones pour la colonisation de la végétation, la croissance d'îlots forestiers, le développement de plaines d'inondation et des habitats fauniques Laisser et protéger des arbres en dépérissement (arbres à cavité/arbres à vocation faunique), des chicots et des débris ligneux grossiers de grande taille dans les zones d'aménagement des berges et des cours d'eau

	Laisser les bassins vernaux libres de résidus de coupe, de houppiers, de branches et de sédiments provenant des opérations forestières. Si les résidus de coupe tombent dans le bassin pendant la période de reproduction, il est préférable de les laisser en place pour éviter de perturber les masses d'œufs ou les activités de reproduction en cours À une distance de 100 pieds autour d'un bassin vernal, maintenir un sol forestier protégé afin de fournir une litière épaisse et des débris ligneux autour du bassin. Éviter de faire des ornières, d'exposer le sol, ou de créer des sources de sédiments autour des bassins vernaux Porter une attention particulière aux opérations effectuées dans ou près des milieux humides boisés étant donné leur importance pour la faune et les fonctions de l'écosystème. Les milieux humides sont des sites à faible fertilité et peuvent accueillir des communautés naturelles rares. Le prélèvement du bois mort y serait inapproprié
Pennsylvanie	Suivre les dispositions du chapitre 102 du document *Clean Streams Law* (http://www.pacode.com/secure/data/025/chapter102/chap102toc.html; consulté le 4 août 2014) et le chapitre 105 du document *Dam Safety and Waterway Management Act*. (http://www.pacode.com/secure/data/025/chapter105/chap105toc.html; consulté le 4 août 2014) Les lignes directrices du Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources (PA DCNR) incluent une discussion générale sur les traverses de cours d'eau, les routes, les chemins de débardage, et la conception des jetées Les zones tampons riveraines doivent procurer une protection adéquate, empêcher la contamination des cours d'eau avec les sols, les produits chimiques ou le pétrole Les opérations doivent s'effectuer quand les sols sont secs ou gelés
Sud-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Southeast* (Forest Guild Southeast Biomass Working Group, 2012) La rétention de bois mort est importante pour la qualité de l'eau, parce que ce dernier réduit le ruissellement et permet de retenir l'eau Laisser et protéger le matériel ligneux existant dans les cours d'eau. Le bois mort dans les systèmes riverains offre des zones pour la colonisation de la végétation, la croissance d'îlots forestiers, le développement de plaines d'inondation et des habitats fauniques Laisser et protéger des arbres en dépérissement (arbres à cavité/arbres à vocation faunique), des chicots et des débris ligneux grossiers de grande taille dans les zones d'aménagement des berges et des cours d'eau Porter une attention particulière aux opérations effectuées dans ou près des milieux humides boisés étant donné leur importance pour la faune et les fonctions de l'écosystème. Les milieux humides sont des sites à faible fertilité et peuvent accueillir des communautés naturelles rares

Wisconsin	Référer au document : *Best Management Practices for Water Quality* (Wisconsin Departement of Natural Resources, 2010) Le document *Wisconsin's Forestland Woody Biomass Harvesting Guidelines* ne prend pas spécifiquement en compte les mesures de protection de l'eau liées à la récolte de biomasse ligneuse
Californie	Référer au document : *California Forest Practice Rules* (California Department of Forestry and Fire Protection, 2013) Dans les zones riveraines, le *Forest Practice Rules* exige des opérations pour « protéger, maintenir, et restaurer les arbres (concrètement des conifères), les chicots ou les débris ligneux grossiers du sol » qui fournissent des habitats
Europe	
Finlande	Référer au document : *Energy Wood Harvesting from Clearcuts, Guidelines for Finland* (Äijälä et coll., 2005) Collecter autant de résidus de coupe que possible dans les bandes tampons proches des voies d'eau et des petits cours d'eau Ne pas entreposer les résidus de coupe près des fossés Après la récolte, les fossés et les sillons doivent être fonctionnels. Enlever les résidus de récolte, les copeaux ou les souches Mettre des limites territoriales autour des habitats forestiers qui ont une importance particulière pour que leurs caractéristiques soient protégées Laisser des bandes tampons continues près des petits cours d'eau et des fossés forestiers et éviter de perturber la surface du sol pendant les opérations en maintenant des bandes tampons Même si la zone n'est pas un habitat forestier d'importance spéciale, laisser une bande tampon continue près des petits plans d'eau, des cours d'eau et des fossés forestiers. Éviter de perturber la surface du sol en retirant les souches ou en faisant de courts débardages en maintenant des bandes tampons : – 2-3 m du bord du fossé; – au moins 3-5 m du bord des ruisseaux et des sources; – 7-10 m des rives des voies navigables
Royaume-Uni	Référer au document : *Forests and Water Guidelines* (Forestry Commission, 2003)
Suède	Référer au document : *Swedish Forestry Act* La technologie, la méthode et le temps de prélèvement des résidus de coupe et du recyclage des cendres doivent être choisis pour que l'équipement ne cause pas un transfert de sédiments et de matériel organique vers les cours d'eau ou qu'il n'endommage pas les reliques culturelles et anciennes. De cette façon, les dommages mécaniques causés sur les arbres seront limités

Canada	
Nouveau-Brunswick	Les recommandations sont les mêmes que celles qui figurent au tableau « Biodiversité et bois mort » de la section précédente de cette annexe

Maintien de la productivité du sol et du site

(Voir Annexe 2 pour une description détaillée des sites sensibles)

États américains	
Caroline du Nord	Référer au document : *Sustainable Woody Biomass Harvesting : Minimizing Impacts* (NC State University, 2008) Récolter après la tombée des feuilles (tard dans l'automne ou durant les mois d'hiver) si possible Utiliser des équipements de façonnage qui éliminent les éléments nutritifs des matériaux (ébranchage sur place, déchiqueteuses qui excluent le feuillage, les rameaux et les petites branches), quand la récolte est inévitable (saison de dormance)
Caroline du Sud	Référer au document : *Forest Biomass Harvesting Recommendations : A Supplement to South Carolina's Best Management Practices for Forestry* (South Carolina Forestry Commission, 2012) Effectuer la récolte de biomasse en même temps que la récolte du bois commercial pour minimiser les entrées et les perturbations Utiliser les routes, les chemins de débardage, les sentiers et les jetées existants pour minimiser le compactage Limiter la récolte dans des sites aux sols peu profonds, très sablonneux ou peu fertiles Éviter de laisser des piles de résidus fins qui empêchent la régénération ou qui concentrent les nutriments Laisser le feuillage dès que possible Envisager la fertilisation, l'apport en cendres ou de la chaux quand l'épuisement des éléments nutritifs est préoccupant Identifier les sols vulnérables et ajuster la récolte en conséquence
Indiana	Référer au document : *Harvesting Biomass. A Guide to Best Management Practices* (Indiana Department of Natural Resources, n.d.) Laisser au moins 1/3 des résidus récoltés tels que les houppiers et les branches de diamètre < 4 pouces.

	De façon générale, trois facteurs principaux influencent la proportion de houppiers et de branches qui sont supposés rester sur le site : - le nombre d'arbres vivants laissés sur le site; - le temps entre les récoltes; - la disponibilité des éléments nutritifs sur le site Laisser sur place plus de cendres, de houppiers et de branches quand l'intensité de la récolte augmente (et quand les trois facteurs précédents diminuent) Dans les sites de productivité adéquate, conserver 1/4 ou 1/5 des houppiers quand 1/3 de la surface terrière est prélevée chaque 15-20 ans. Dans le cas d'une coupe totale de 30 acres, conserver plus de houppiers (1/3 de houppiers) Autres suggestions : - retourner les résidus dans le parterre de coupe et les disperser plutôt que de les accumuler dans la jetée, si possible; - inventorier les débris ligneux préexistants avant la coupe afin de planifier le montant de résidus à laisser sur le site. Par exemple, dans des peuplements ayant une faible quantité de débris ligneux avant la coupe, conserver plus de résidus (p. ex., conserver 1 houppier sur chaque 4 ou 5 arbres récoltés); dans des peuplements contenant une quantité modérés de débris ligneux préexistants, conserver 1 houppier sur chaque 3 arbres récoltés Éviter le prélèvement de la litière, du sol forestier ou au-dessous de la biomasse, des souches et des racines Laisser des résidus additionnels (plus que le tiers des houppiers et des branches récoltés, dans des sols peu profonds et pauvres en nutriments Conserver les débris ligneux existants, si possible : - bouger les débris ligneux grossiers en dehors des routes, des chemins de débardage et des jetées pour sécuriser les opérations de récolte; - laisser sur place les débris ligneux grossiers et fins qui sont utilisés pour stabiliser le sol des routes et des chemins de débardage après les opérations de récolte; - conserver des chicots ou des rebuts pour la faune quand cela ne suppose pas de risque pour la sécurité et les insectes ravageurs
Kentucky	Référer au document : *Recommendations for the Harvesting of Woody Biomass* (Kentucky Division of Forestry, 2011) Lorsque cela est possible, les opérations de récolte de biomasse doivent se réaliser conjointement avec la récolte conventionnelle ou les autres activités d'aménagement, afin de minimiser le compactage du sol et d'autres effets nuisibles à la productivité du site, à la qualité et à la quantité d'eau, aux habitats fauniques et d'autres influences sur l'environnement liées à la durabilité des forêts S'assurer de laisser suffisamment de rémanents pour maintenir la productivité du site et la diversité des habitats fauniques. Le *Kentucky Division of Forestry* et le *Kentucky Department for Fish and Wildlife Resources* recommande de laisser entre 15 et 30 % de débris ligneux (houppiers et billes de pied) distribués à travers le parterre de coupe

Maine	Référer au document : *Woody Biomass Retention Guidelines. Considerations and Recommendations for Retaining Woody Biomass on Timber Harvest Sites in Maine* (Benjamin, 2010) Conserver la litière, les souches et les racines aussi intactes que possible, sauf dans certains cas pendant la préparation du site
Minnesota	Référer au document : *Sustaining Minnesota Forest Resources : Voluntary Site-Level Forest Management Guidelines for Landowners, Loggers and Resource Managers* (Minnesota Forest Resources Council, 2012) Ne pas retirer la couche morte, la litière ou le système racinaire Les routes, les chemins de débardage et les jetées ne devraient pas occuper plus que de 1 à 3 % du site Éviter la récolte additionnelle de biomasse pour les sites sensibles à l'érosion; installer des dispositifs de contrôle d'érosion
Missouri	Référer au document : *Missouri Woody Biomass Harvesting Best Management Practices Manual* (Missouri Department of Conservation, 2010) Allonger les révolutions ou utiliser un aménagement inéquienne pour favoriser la fertilité du sol Conserver un minimum de 33 % des résidus de coupe
Nord-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Northeast* (Forest Guild Biomass Working Group, 2010) De façon générale, conserver de 1/4 à 1/3 de rémanents, de houppiers et de branches provenant de la récolte (p. ex., débris ligneux grossiers) quand 1/3 de la surface terrière est prélevée durant un cycle de 15 à 20 ans Trois facteurs principaux influencent la proportion de houppiers et de branches qui sont censés rester sur le site : - le nombre d'arbres vivants laissés sur le site; - le temps entre les récoltes; - la disponibilité en éléments nutritifs du sol Lorsque l'intensité de récolte augmente (et les trois facteurs précédents diminuent), laisser sur le parterre de coupe plus de rémanents, de houppiers et de branches Lorsque l'intensité de récolte augmente (et les trois facteurs précédents diminuent), les rémanents, les houppiers et les branches sont essentiels pour protéger la productivité du site Conserver des débris ligneux au sol de toutes les tailles (débris ligneux fins, grossiers et des grosses billes abattues)

	De façon générale, laisser les débris ligneux au sol distribués tout au long du parterre de coupe. Parfois, les piles de débris ligneux abattus offrent des habitats fauniques ou bien la redistribution des débris provoque des dommages excessifs pour le sol ou la régénération Minimiser le prélèvement des aiguilles ou des feuilles en récoltant durant l'hiver, conserver des débris ligneux fins sur le site ou des arbres abattus pour permettre la tombée des aiguilles
Pennsylvanie	Référer au document : *Guidance on Harvesting Woody Biomass for Energy in Pennsylvania* (Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources, n.d.) Minimiser la compaction des sols et l'orniérage en liant les techniques d'opération et les saisons d'opération aux types de sols et au niveau d'humidité Minimiser les perturbations du sol dans la conception et la localisation des jetées, des routes et des chemins de débardage Ne pas contaminer le sol avec les combustibles ou les produits chimiques provenant des équipements
Sud-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Southeast* (Forest Guild Southeast Biomass Working Group, 2012) Laisser 1/3 de rémanents lorsqu'il existe des débris ligneux au sol Conserver des débris ligneux au sol de toutes les tailles (débris ligneux fins, grossiers et des grosses billes abattues De façon générale, laisser les débris ligneux au sol distribués tout au long du parterre de coupe. Cela est plus facile quand le bois mort est laissé lors de l'abattage des arbres. Si les arbres entiers sont débardés sur la jetée, il est préférable de retourner les rémanents sur le parterre de coupe que de les laisser sous forme de grosses piles dans la jetée. Par exemple, le *Forest Stewardship Council Guidelines* dit que « les rémanents sont concentrés seulement pour atteindre les objectifs de préparation du site et pour la réduction de combustible afin de modérer ou de diminuer le risque de feux » Utiliser des méthodes qui laissent des débris ligneux ou autres litières naturelles dispersés sur le site en présence d'érosion Récolter les arbres feuillus ou les forêts mixtes de pin et feuillus durant l'hiver pour diminuer le prélèvement de nutriments, si possible
Wisconsin	Référer au document : *Silviculture and Forest Aesthetics Handbook* (Wisconsin Departement of Natural Resources, 2013) Conserver la litière, la couverture morte, les souches ou le système racinaire

Californie	Référer au document : *California Forest Practice Rules* (California Department of Forestry and Fire Protection, 2013) Le *California Forest Practice Rules* met l'emphase sur l'importance écologique des débris ligneux au sol pour la fertilité du sol, la conservation de l'humidité, le support des microorganismes, mais les réglementations exigent le prélèvement des rémanents plutôt que la rétention
Europe	
Danemark	Référer au document : *Revised Assessment of Biomass Harvesting and Retention Guidelines* (Evans et coll., 2010) Pour les conifères, laisser les aiguilles sur le site en pré-séchant le matériel au moins 2 mois durant le printemps et l'été Éviter le prélèvement sur les bordures exposées des forêts
Finlande	Référer au document : *Energy Wood Harvesting from Clearcuts, Guidelines for Finland*. (Äijälä et coll., 2005) Conserver une certaine quantité de biomasse avec un contenu riche en nutriments dans la zone récoltée : – le houppier (1-2 m) est coupé et laissé dans la forêt; – les arbres avec un diamètre de souche plus petit que 4 cm sont laissés dans la forêt; – les feuillus sont coupés et laissés à sécher sur le sol où leur feuillage tombe et se décompose Fertiliser avec des cendres de bois dans les zones tourbeuses Conserver 30 % des résidus de coupe sur le site : s'assurer que les résidus sont répartis également sur la zone de récolte La biomasse riche en éléments nutritifs doit rester dans la zone de récolte : les houppiers (1-2 m) doivent être coupés et laissés sur le site; les arbres avec un diamètre de souche < 4 cm doivent être laissés sur le site; les branches et les ramilles doivent demeurer sur le site; les arbres feuillus doivent être séchés sur le site pour faciliter la perte du feuillage Éviter de perturber le sol Utiliser la biomasse comme une couche protectrice pour renforcer la capacité de charge du sol Éviter les sols avec une faible capacité de charge Effectuer la récolte pendant la saison sèche quand le sol est dégelé ou l'hiver quand le sol est gelé Ne pas récolter les souches dans les pentes raides sensibles à l'érosion ou faire des chemins de dégagement perpendiculaires aux pentes. Les types de sols sensibles à l'érosion incluent les sables et les silts fins et leurs moraines

Royaume-Uni	Référer au document : *Revised Assessment of Biomass Harvesting and Retention Guidelines* (Evans et coll., 2010) Conserver plus de 20 % des résidus de coupe dans les zones récoltées (préférablement exposées au soleil); spécialement les houppiers, les grosses branches, le bois mort des feuillus et les houppiers des pins
Suède	Référer au document : *Recommendations for Extraction of Logging Residues and Ash Recycling* (Hjerpe, 2008) Le recyclage des cendres devrait être effectué sur les sites où une importante part des résidus de coupe est prélevée à un point précis pendant une révolution Le prélèvement des résidus de coupe doit être compensé avec des cendres si : – l'extraction totale des parties autres que la tige pendant une révolution représente plus de la moitié d'une tonne de cendres par hectare; – la majorité des aiguilles des conifères n'est pas bien dispersée Toutefois, les cendres doivent toujours être recyclées si les résidus de coupe sont prélevés lors de la coupe finale, et ce, même si l'extraction représente moins que la moitié d'une tonne de cendres par hectare et que les aiguilles des conifères ont été bien dispersées dans les cas où le sol est sévèrement acidifié ou que la forêt croît dans une tourbière Dans les régions recevant de grandes quantités d'azote des dépôts atmosphériques, il est préférable que les aiguilles des conifères soient prélevées du site, à condition que les cendres soient recyclées. Dans les régions qui ont des niveaux bas d'azote et de hauts niveaux de prélèvement de biomasse, la compensation doit inclure une fertilisation d'azote et de cendres La technologie, la méthode et le temps de prélèvement des résidus de coupe et du recyclage des cendres doivent être choisis pour que l'équipement ne cause pas de transfert de sédiments et de matériel organique dans les cours d'eau ou qu'il n'endommage pas les reliques culturelles et anciennes. De cette façon, les dommages mécaniques causés sur les arbres seront limités
Canada	
Nouveau-Brunswick	Référer au document : *Forest Biomass Harvesting* (Government of New Brunswick, 2008) Ne pas prélever la couverture morte incluant la litière, la surface du sol, les souches et le système racinaire La récolte de biomasse forestière est limitée aux houppiers, aux branches, au feuillage, aux tiges non marchandes des arbres et des arbustes, au bois mort préexistant et aux copeaux La récolte de biomasse ne doit se produire que sur les zones éligibles ou à faible risque

	Le feuillage doit être laissé sur le site après la récolte. Le cycle des saisons doit être considéré dans la planification de la récolte de biomasse Les systèmes de récolte doivent être sélectionnés pour minimiser les perturbations du sol incluant la compaction, l'orniérage et l'érosion
Ontario	L'Ontario est en train de consolider les lignes directrices concernant la récolte de biomasse forestière (North East State Foresters Association, 2012)
Québec	Le Québec est en train d'élaborer des lignes directrices sur la récolte de biomasse forestière basées sur les propriétés du sol (North East State Foresters Association, 2012)

Maintien d'une productivité à long terme grâce à une sylviculture appropriée

États américains	
Caroline du Nord	Référer au document : *Sustainable Woody Biomass Harvesting : Minimizing Impacts* (NC State University, 2008) Minimiser la fréquence de la récolte de biomasse ainsi que l'entrée avec les machines Utiliser de plus longues périodes de rotation lorsque possible et justifiable économiquement
Kentucky	Référer au document : *Recommendations for the Harvesting of Woody Biomass* (Kentucky Division of Forestry, 2011) Les propriétaires forestiers devraient tenir compte de la meilleure utilisation des arbres à récolter pour maximiser la valeur du bois et pour encourager la durabilité de leurs forêts tout en utilisant la biomasse forestière Toutes les récoltes commerciales doivent être conformes aux exigences en matière de récolte de Kentucky et aux bonnes pratiques d'aménagement (BMPs) conformes avec le *Kentucky Forest Conservation Act* et les BMPs sylvicoles du *Kentucky Agriculture Water Quality Act* Lorsque l'on considère des plantations à courte rotation (PCR), sélectionner des espèces indigènes du Kentucky appropriées au site où la plantation va être établie et qui ont des marchés disponibles. Certaines PCR sont invasives et très agressives, pouvant provoquer un impact négatif sur l'environnement et les forêts indigènes du Kentucky La récolte crée des conditions favorables à l'établissement de plantes non indigènes et de plantes indigènes agressives. La prescription du traitement de plantes envahissantes est disponible à plusieurs endroits sur Internet, y compris http://www.invasivespeciesinfo.gov/plants/controlmech.shtml
Missouri	Référer au document : *Missouri Woody Biomass Harvesting Best Management Practices Manual* (Missouri Department of Conservation, 2010)

	Éviter de perturber les peuplements forestiers et les arbres marqués en réserve Éviter d'entrer plusieurs fois dans les peuplements Éviter l'écrémage; des recommandations spécifiques sur le nombre d'arbres des peuplements et leur espacement sont incluses Éviter de convertir les forêts naturelles en plantations La récolte de biomasse peut être utilisée lors d'une opération de récupération La récolte de biomasse peut être utilisée pour augmenter l'esthétique
Minnesota	Référer au document : *Biomass Harvesting Guidelines for Forestlands, Brushlands and Open Lands* (Minnesota Forest Resources Council, 2007) Éviter d'entrer plusieurs fois dans les peuplements, spécialement si les traitements de régénération ou de plantation ont été effectués La récolte de biomasse peut être utilisée pour accomplir des objectifs de réduction des combustibles, de préparation de terrain en vue de la régénération ou de mitigation des effets du dendroctone du pin
Michigan	Référer au document : *Michigan Woody Biomass Harvesting Guidance* (Michigan Department of Natural Resources and Environment, 2010) Se concentrer sur la structure du peuplement résiduel pendant les récoltes intermédiaires La récolte de biomasse peut être utilisée pour contrôler/diminuer les espèces floristiques invasives ou exotiques La récolte de biomasse peut être utilisée pour réduire les arbres à risque dans les aires de récréation ou les aires à risque de feu La récolte de biomasse peut être utilisée pour atteindre des objectifs de récupération et d'hygiène
Nord-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Northeast* (Forest Guild Biomass Working Group, 2010) Protéger les terres forestières d'être converties en utilisation non forestière et les forêts naturelles d'être converties en plantations Impliquer des professionnels forestiers dans le développement d'un plan d'aménagement à long terme et pour la supervision de la récolte Engager un bûcheron certifié provenant du *Master Logger Certification Program* ou autre Suivre les BMPs de l'État ou de la région

	Planifier et construire des routes et des chemins de débardage en se basant sur les conseils de professionnels et les BMPs Intégrer la récolte de biomasse avec les autres opérations forestières Utiliser des techniques d'exploitation forestière comme l'abattage directionnel ou l'utilisation de rémanents pour protéger le sol de l'orniérage et le compactage provoqués par les abatteuses Utiliser l'équipement approprié pour le site et les opérations
Pennsylvanie	Référer au document : *Guidance on Harvesting Woody Biomass for Energy in Pennsylvania* (Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources, n.d.) Éviter l'écrémage; se concentrer sur la structure résiduelle du peuplement Éviter d'entrer plusieurs fois dans les peuplements récoltés La récolte de biomasse peut être utilisée pour accomplir des objectifs de récupération et d'hygiène Éviter de convertir les forêts naturelles en plantations de peuplements ligneux à courtes révolutions La régénération, les conditions dans les peuplements résiduels et des objectifs de restauration peuvent guider les pratiques de récolte de biomasse
Sud-est des États-Unis	Référer au document : *Forest Biomass Retention and Harvesting Guidelines for the Southeast* (Forest Guild Southeast Biomass Working Group, 2012) Encourager les décisions qui permettent de conserver les forêts de les convertir à autres utilisations Impliquer des professionnels forestiers dans le développement d'un plan d'aménagement à long terme et pour la supervision de la récolte Engager un bûcheron certifié provenant du *Master Logger Certification Program* ou autre Suivre les BMPs de l'État ou la région Planifier et construire des routes et des chemins de débardage en se basant sur les conseils de professionnels et les BMPs Intégrer la récolte de biomasse avec les autres opérations forestières Utiliser des techniques d'exploitation forestière comme l'abattage directionnel ou l'utilisation de rémanents pour protéger le sol de l'orniérage et le compactage provoqués par les abatteuses Utiliser l'équipement approprié pour le site et les opérations

Wisconsin	Référer au document : *Wisconsin's Forestland Woody Biomass Harvesting Guidelines* (Wisconsin Department of Natural Resources, 2008) Les récoltes de biomasse peuvent être utilisées pour atteindre les buts de préparation du site, de retrait des plantes exotiques et invasives, de traitements de diminution des combustibles et de restauration La récolte de biomasse peut être utilisée pendant les opérations d'hygiène et de récupération. Toutefois, 5 % de l'aire devra ne pas être récupéré

Annexe 2 : Gradients de sensibilité des sols développés par différentes juridictions

Juridictions	Niveaux de risque Type de récolte		
	Élevé **Récolte évitée**	**Moyen** **Récolte conditionnelle**	**Faible** **Récolte permise selon certaines recommandations (Annexe 1)**
ÉTATS AMÉRICAINS			
Maine		– Site à faible fertilité – Sol mince – Sol sablonneux grossier – Sol faiblement drainé – Pentes fortes – Autre site sensible à l'érosion **Condition :** Conserver autant de houppiers et de branches que possible	
Michigan		– Sol mince pauvre en éléments nutritifs **Condition :** Laisser des résidus additionnels (plus de 33 %)	
Minnesota	– Tourbière – Peuplement de trembles et de feuillus sur sol mince (< 20 cm)	– Sable à drainage excessif – Sol de 20 à 50 cm **Conditions :** Rétention recommandée de 1/3 des DLF sur le site Distribution égale des DLG sur le site	

Missouri		– Sol mince – Pente abrupte (> 35 %) **Condition :** Éviter le débusquage	
Wisconsin		– Sol mince (< 50 cm) – Sol mince, sableux et pauvre en éléments nutritifs – Tourbière ombrotrophe **Condition :** Pas de récolte des débris ligneux fins	

EUROPE				
Communauté européenne	**Pente :** > 25º (> 47 %) **Élévation :** < 1 500 m **Régime hydrique :** Humide à une profondeur de 40 cm, > 11 mois **Saturation en base du sol :** **?**	**Moyen-Élevé** **Pente :** 10º – 25º (18 – 47 %) **Élévation :** < 1 500 m **Régime hydrique :** Humide à une profondeur de 80 cm, > 6 mois **Saturation en base du sol :** **?**	**Moyen-Faible** **Pente :** 5º – 10º (9 – 18 %) **Élévation :** < 1 500 m **Tourbière :** Non **Régime hydrique :** Humide à une profondeur de 80 cm, < 6 mois **Saturation en base du sol :** < 50 %	**Pente :** < 5º (< 9 %) **Élévation :** < 1 500 m **Tourbière :** Non **Régime hydrique :** Humide à une profondeur de 80 cm, < 6 mois **Saturation en base du sol :** > 50 %

	Type de sol (FAO Lv1) : Ranker; Arenosol; Lithosol; Xerosol; Solonchak; Regosol; Acrisol; Solonetz; Marsh **Précision :** 0 % de prélèvement	**Type de sol (FAO Lv1)** : Histosol; Ferralsol; Planosol **Précision :** 15 % de prélèvement	**Type de sol (FAO Lv1)** : Podzol; Water **Précision :** 50 % de prélèvement	**Type de sol (FAO Lv1) :** Cambisol; Chernozem; Podzoluvisol; Kastanozem; Rendzina; Gleysol; Phaeozem; Fluvisol; Luvisol; Greyzem; Andosol; Vertisol; Town **Précision :** 75 % de prélèvement

Danemark	– Peuplements de feuillus sur les sols sableux	– Forêt inférieure (spécialement les peuplements de pins des montagnes) **Conditions :** Utilisation limitée des branches des houppiers, et seulement après un pré-séchage – Conifères (classes de production < 9 m^3/ha/an) **Condition :** Récolte seulement après fertilisation	
Finlande	– Sol rocailleux ou rocheux – Sol pauvre et sec – Tourbière de faible fertilité – Site avec des problèmes nutritionnels – Sol minéral quelque peu sec, de fertilité moyenne, dominé par le pin – Sol sec, dominé par le pin, mousses, éricacées – Sol très sec avec texture grossière, dominé par le pin, lichen		– Sol minéral riche, épaisse couche de sol noir, feuillus tels que le chêne, le hêtre, le bouleau et l'aulne, sous-bois dense – Sol minéral fertile, dominé par les feuillus et l'épinette – Sol minéral fertile, dominé par l'épinette avec quelques feuillus et du pin, avec un peu de sous-bois

			Condition : Récolter 70 % des résidus ou l'équivalent en quantité d'éléments nutritifs
France	– Sol contenant moins de 10 % d'argile – Humus de type : Mor/Dysmoder, Moder	– Sol contenant de 10 à 25 % d'argile – Humus de type : Mullmoder/Dysmull, Mull oligotrophique **Condition :** Une seule récolte par révolution	– Sol contenant 25 % ou plus d'argile – Humus de type : Mull mésotrophique, Mull eutrophique, Mull calcique, Mull carbonaté
Scandinavie	– Température moyenne annuelle inférieure à 2 °C – Sol de moins de 30 cm d'épaisseur – Tourbière ombrotrophe – Sol minéral de pH inférieur à 4,8 – Sol minéral de texture sableuse, de pH entre 4,8 et 6, et dont la minéralogie est dominée par le quartz		
Royaume-Uni	– Podzol (3, 3 m, 3p) – Sol avec horizon induré (4e, 4z) – Gleysol tourbeux (6p, 6z) – Tourbière de type *Juncus* (8a, b, c, d) – Tourbière de type *Molinia* (9a, b, c, d, e) – Tourbière ombrotrophe (11a, b, c, d) – Ranker (13 b, r, z, g, p) – Sol squelettique (13 s) – Sol littoral (15 s, d, e, i, g, w)	– Brunisol podzolique (1z) – Sol avec horizon induré (4, 4 b, 4p) – Gleysol d'eau souterraine (5, 5 p) – Gleysol tourbeux (6) – Gleysol d'eau de surface (7, 7 b, 7z) **Conditions :** Aiguilles laissées sur le site La récolte des rémanents limitée aux périodes sèches (si extraction secondaire, peut être effectuée pendant les périodes humides)	– Brunisols (excepté de type podzolique) (1, 1d, u) – Sol calcaire (12a, b, t)

	Précisions : Prélèvement possible si les nutriments ou les cations basiques sont remplacés par l'application de fertilisants, de chaux ou de cendres de bois (non nécessaire sur les tourbières de type *Juncus*). Une quantité suffisante de rémanents est conservée pour protéger les sols du passage des machines	Quantité suffisante de rémanents conservée sur le site et sur les chemins de débardage pour protéger les sols du passage des machines	
CANADA			
Nouveau-Brunswick	– Tourbière – Sol mince (moins de 30 cm d'épaisseur) – Sol rocailleux ou pierreux – Sol sec et pauvre – Site pour lequel les intrants en éléments nutritifs sont inférieurs aux exportations d'éléments nutritifs causées par la coupe par arbre entier (d'après un modèle théorique de budget nutritionnel)		
Ontario	– Sol très mince (moins de 20 cm d'épaisseur)	– Sol de texture moyennement sableuse à sableuse d'au moins 20 cm d'épaisseur **Condition :** S'assurer de la rétention de matière organique sur le site (ex. coupe d'hiver, rétention d'arbres morts ou mourants, préparation de terrain peu intensive, etc.	

Québec	– Site pour lequel les intrants d'acidité causés par les dépôts atmosphériques et la récolte de l'arbre entier dépassent de plus de 200 eq ha^{-1} an^{-1} la charge critique en acidité à court terme que peut supporter le sol		

Annexe 3 : Recommandations pour assurer la productivité du sol : exemple pour le Québec

Comme pour la biodiversité, l'eau et les zones riveraines, la productivité des sols est souvent déjà abordée dans les lignes directrices développées pour les activités de récolte forestière. Par contre, certains sites sont généralement reconnus comme étant à risque de perte de productivité avec prélèvement de résidus forestiers. Les sites sensibles sont les suivants :

- les sols minces,
- les pentes fortes,
- les sols à texture très grossière et grossière,
- les sites à drainage excessif,
- les sites acides ou peu fertiles.

La majorité des juridictions ont développé une cartographie du territoire qui leur est propre. Cette dernière permet un classement des sites selon leurs caractéristiques (dépôts de surface, végétation, topographie, etc.) et permet de tracer un portrait global de la sensibilité des sites à la récolte de biomasse. Toutefois, cette information cartographique doit être validée en utilisant des outils simples (clé de texture, espèces indicatrices, etc.) sur le terrain. Un diagnostic terrain permet d'assurer que les bonnes actions sont posées aux bons endroits et d'éviter les erreurs induites par l'imprécision de l'information cartographique**. La définition et la description des sites sensibles ci-après sont données à titre indicatif**. Les codes entre parenthèses réfèrent à la classification écologique du Québec.

1. Les sols minces

La sensibilité des sols minces à la récolte de biomasse forestière est expliquée par leur susceptibilité à l'érosion. L'entrée supplémentaire de machinerie sur le site forestier augmente les risques de dommages physiques au sol. De plus, étant donné que la quantité de sols est restreinte, leur réservoir d'éléments nutritifs disponibles est très limité. Les critères d'épaisseurs pour les sols minces sont variables selon les juridictions.

Au Québec, il existe une classification de l'épaisseur des dépôts associée à la cartographie des dépôts de surface (Saucier et coll., 1994). Les sols considérés comme minces sont les suivants.

- Dépôts très minces ou absents (R) : les affleurements rocheux sont très fréquents. Ils représentent plus de 50 % de la surface.

- Dépôts minces à très minces (Rx) : épaisseur modale inférieure à 50 cm. Les affleurements rocheux sont fréquents.

- Dépôts très minces (Mx) : épaisseur modale inférieure à 25 cm. Les affleurements rocheux sont peu fréquents.

Il est préférable de valider sur le terrain les données difficiles à cartographier, par exemple en creusant le sol avec une pelle. Pour les sites dont les sols ont une épaisseur inférieure à 25 cm, la

récolte n'est pas recommandée. Pour les sites dont l'épaisseur du sol varie entre 30 et 50 cm, la récolte peut être effectuée, mais seulement lors d'une coupe d'hiver, ou en s'assurant de conserver une proportion des résidus.

2. Les pentes fortes

Le prélèvement des résidus forestiers affecte particulièrement les sites à pente forte étant donné leur susceptibilité à l'érosion. Comme pour les sols minces, l'entrée supplémentaire de machinerie sur le site forestier augmente les risques de dommages physiques au sol.

Au Québec, les pentes fortes peuvent être identifiées grâce à la cartographie de la topographie du territoire. Les pentes sensibles à la récolte de biomasse sont les suivantes (Létourneau et coll., 2003) :

- pentes abruptes (F) : 40 % et plus,
- pentes fortes (E) : 31 à 40 %.

Une vérification peut aussi être effectuée sur le terrain.

Les sites dont les pentes ont une inclinaison supérieure à 30 % ne doivent pas être soumis à la récolte.

3. Les sols à texture très grossière et grossière

La sensibilité des sites dont les sols sont caractérisés par une texture grossière ou très grossière est expliquée par leur faible teneur en matière organique. La matière organique présente dans le sol détermine en partie la capacité de rétention de l'eau et des éléments nutritifs; elle constitue aussi une source d'éléments nutritifs. Les sols déjà pauvres en matière organique sont donc potentiellement affectés par un prélèvement des résidus de coupe (Thiffault et coll., 2006).

Tout d'abord, au Québec, les **sols à texture très grossière** peuvent être identifiés très sommairement par le type de dépôts (Saucier et coll., 1994). Les sols à texture très grossière sont les suivants.

- Les **dépôts juxtaglaciaires (2A)** sont des dépôts fluvio-glaciaires (2) qui comprennent les eskers (2AE) (Figure 18), les kames (2AK) et les terrasses de kame (Figure 19). Ce sont des dépôts constitués de sable, de gravier, de cailloux, de pierres et, parfois, de blocs allant d'arrondis à subarrondis. Leur stratification est souvent déformée et contient souvent des failles. La granulométrie des éléments varie considérablement selon les strates. Ces dépôts renferment fréquemment des poches de till (Figure 20).

Figure 18. Esker à cœur graveleux
Source : René Thiffault

Figure 19. Matériel d'une terrasse de kame
Source : René Thiffault

Figure 20. Till
Source : René Thiffault

- Les **dépôts pro-glaciaires (2B)** sont des dépôts fluvio-glaciaires (2) qui rassemblent les deltas fluvioglaciaires (2BD), les deltas d'esker (2BP) et l'épandage (2BE) (Figure 21). Ils sont surtout composés de sable, de gravier et de cailloux émoussés. Ces sédiments sont triés et disposés en couches bien distinctes.

Figure 21. Matériel d'épandage fluvioglaciaire
Source : René Thiffault

- Les **dépôts éoliens (9)** comprennent les dunes actives (9A) et les dunes stabilisées (9B) (Figure 22). Ce sont des dépôts lités et bien triés, généralement composés de sable, dont la granulométrie varie de fine à moyenne.

Figure 22. Dune
Source : René Thiffault

Les sols à texture grossière sont pour leur part associés aux types de dépôts suivants (Saucier et coll., 1994).

- Les **dépôts glaciaires caractérisés par leur morphologie (1B)** sont associés aux drumlins et drumlinoïdes (1BD), aux buttes à traînées de débris (1BT), aux moraines de décrépitude (1BP), aux moraines côtelées (de Rögen) (1BC), aux moraines ondulées (1BN), aux moraines De GEER (1BG) et aux moraines frontales (1BF) (Figure 23). Ce sont des formes glaciaires généralement composées de till (Figure 20).

Figure 23. Cœur d'une moraine
Source : René Thiffault

- Les **dépôts alluviaux (3A)** sont des dépôts fluviatiles (3) qui sont divisés en dépôts actuels (3AC), récents (3AE) et anciens (3AN). Ce sont des dépôts bien stratifiés. Ils se composent généralement de gravier et de sable, ainsi que d'une faible proportion de limon et d'argile. Ils peuvent aussi renfermer de la matière organique.

- Les **dépôts glaciolacustres de faciès d'eau peu profonde (4 GS)** sont des dépôts lacustres (4). Ce sont des dépôts constitués de sable et parfois de gravier.

- Les **dépôts de plage (4P)** sont des dépôts lacustres (4). Ils sont composés de sable et de gravier triés. Dans certains cas, ils peuvent renfermer une proportion de limon.

- Les **dépôts marins de faciès d'eau peu profonde** (5S) sont des dépôts marins (5). Ils sont constitués de sable, et parfois de gravier, généralement bien trié.

La classification des dépôts de surface permet d'identifier de façon très générale les sols à texture très grossière et grossière. Néanmoins, afin d'obtenir l'information la plus précise et juste possible, il est nécessaire de procéder à une validation terrain. Pour ce faire, il faut se référer à une clé de texture (Annexe 4). Un sol qui est identifié comme étant un sable ou un sable loameux est associé à une texture très grossière. Les résidus de coupe ne doivent donc pas y être récoltés. Toutefois, si le sol s'apparente plutôt à un loam sableux, la texture est alors grossière. Sur ces sites, il est recommandé d'assurer la conservation de la matière organique, c'est-à-dire de pratiquer la récolte d'hiver ou de laisser une proportion de débris grossiers (grosses branches) sur le site.

4. Les sites à drainage excessif

Les sites à drainage excessif sont caractérisés par une faible teneur en matière organique. Le prélèvement de résidus forestiers les prive d'une source potentielle de matière organique qui pourrait contribuer à la capacité du sol à retenir l'eau et les éléments nutritifs.

Des classes de drainage ont été développées au Québec. Des critères de circulation de l'eau, de même que des caractéristiques du dépôt et du sol, sont associés à chaque classe (Saucier et coll., 1994). Une seule d'entre elles, la classe de drainage excessif (0), pourrait être considérée comme pouvant être problématique pour un site dans un contexte de récolte de biomasse.

Eau du sol :

- provient des précipitations et, parfois, du drainage latéral;
- elle disparaît très rapidement;
- la nappe phréatique est absente.

Caractéristiques du dépôt :

- dépôt très pierreux, très mince ou à roc nu;
- surtout sur les sites graveleux, les sommets ou les pentes fortes;
- texture allant de grossière à très grossière.

Caractéristiques du sol :

- humus généralement mince;
- aucune moucheture sauf, exceptionnellement, au contact du roc (assise rocheuse).

Sur le terrain, les espèces indicatrices de régime hydrique du sol sec et de régime nutritif pauvre de la forêt boréale peuvent contribuer à indiquer les sites à drainage excessif (Tableau 5) (Ringius et Sims, 1997).

Tableau 5. Espèces indicatrices de sites secs et pauvres

Espèces
Arbres et arbustes
Alnus crispa (Ait.) Pursh – Aulne crispé/aulne vert *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. – Raisin d'ours/busserole raisin-d'ours *Chimaphila umbellata* (L.) Bart – Chimaphile à ombelle / herbe à clé *Comptonia peregrina* (L.) Coult. * – Comptonie voyageuse (Figure 24) *Epigaea repens* L. – Épigée rampante/fleur de mai *Juniperus communis* L. – Genévrier commun *Kalmia angustifolia* L. – Kalmia à feuilles étroites/crevard de moutons *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. – Lédon décombant *Menziesia ferruginea* Sm. – Menziésie ferrugineuse *Rhododendron albiflorum* Hook. * – Rhododendron à feuilles blanches *Rhododendron canadense* (L.) Torr. – Rhododendron du Canada *Shepherdia canadensis* (L.) Nutt. – Shépherdie du Canada *Vaccinium vitis-idaea* L. var. minus Lodd. – Airelle vigne-d'Ida /airelle rouge
Plantes herbacées
Cypripedium acaule Ait. – Cypripède acaule/sabot de la vierge
Fougères, lycopodes et prêles
–
Mousses et lichens
Cladina spp. – Lichens à caribous/lichens des caribous (Figure 25) *Kindbergia oregana* (Sull.) Ochyra* – Kindbergie de l'Orégon *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not. – Hypne cimier/hypne plumeuse

***** Espèces indicatrices à la limite de la forêt boréale

Les sites associés à un drainage excessif ne doivent pas faire l'objet d'une récolte de biomasse.

Figure 24. *Comptonia* – Comptonie
Source : Nelson Thiffault

Figure 25. *Cladina* spp. – Lichens à caribous/lichens des caribous
Source : Nelson Thiffault

5. Sites acides et peu fertiles

La récolte de biomasse affecte les sites naturellement acides et peu fertiles en raison de leur faible disponibilité en éléments nutritifs, surtout en ce concerne les cations basiques (Thiffault et coll., 2006). Effectivement, pour ces stations, l'altération des minéraux fournit peu d'éléments et l'acidité élevée limite la capacité du sol à retenir les cations basiques. Les résidus de coupe représentent donc une source importante d'éléments nutritifs pour ces stations.

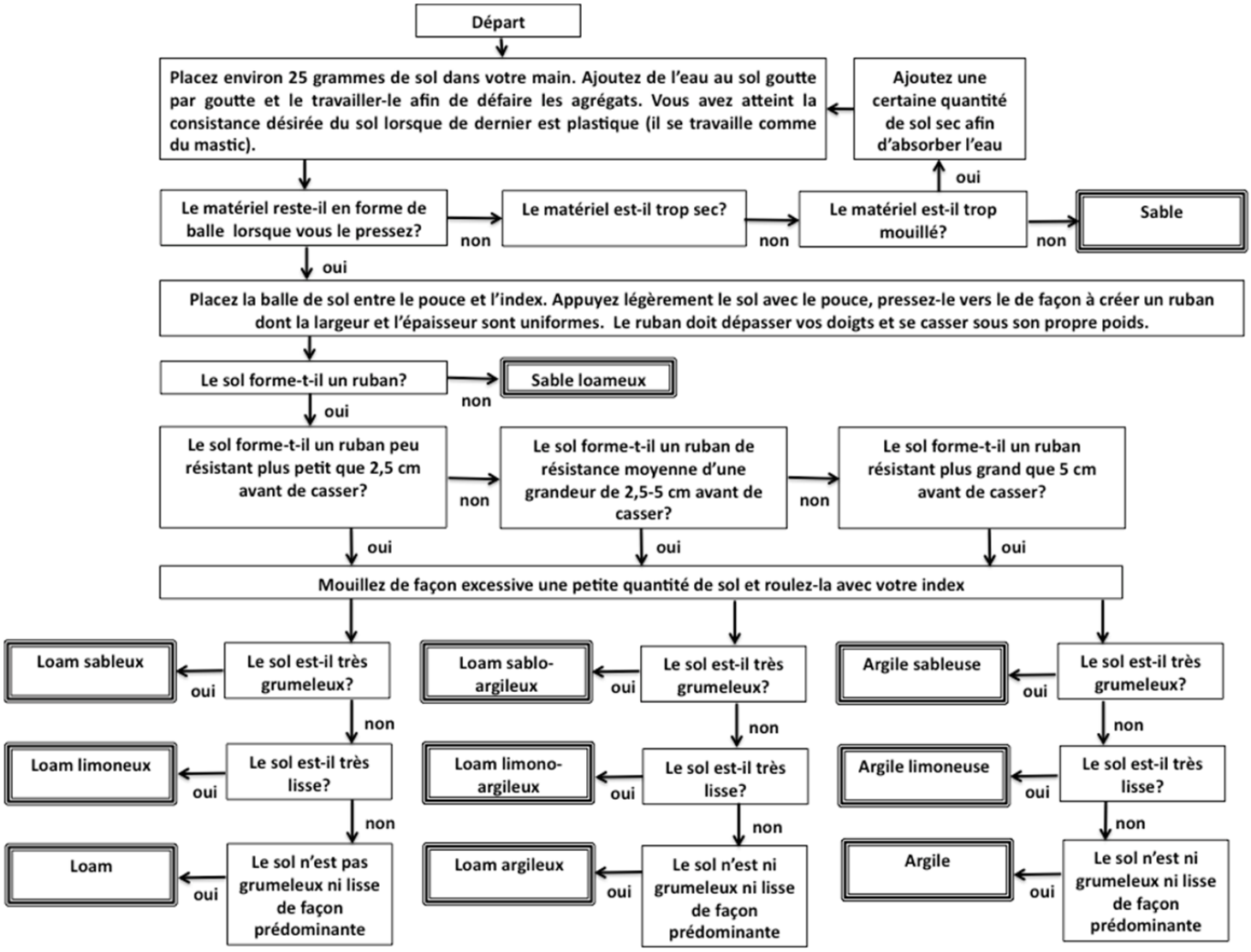
La classification selon les types écologiques peut permettre d'identifier les sites acides et peu fertiles (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2006). Les types écologiques à lichens et les types écologiques à lichens sur dépôt très mince ou de texture grossière indiquent habituellement des sites acides et peu fertiles :

- pessière noire à lichens sur dépôt très mince, de texture variée et de drainage de xérique à hydrique (RE10);

- pessière noire à lichens sur dépôt très mince, de texture variée et de drainage de xérique à hydrique (RE11);

- pessière noire à mousses ou à éricacées sur dépôt très mince, de texture variée et de drainage de xérique à hydrique (RE20);

- pessière noire à mousses ou à éricacées sur dépôt de mince à épais, de texture grossière et de drainage xérique ou mésique (RE21).

Sur le terrain, les sites dominés par les lichens, les éricacées ou un humus mince peuvent indiquer leur sensibilité. La récolte de biomasse n'y est pas recommandée.

Annexe 4 : Clé de texture des sols