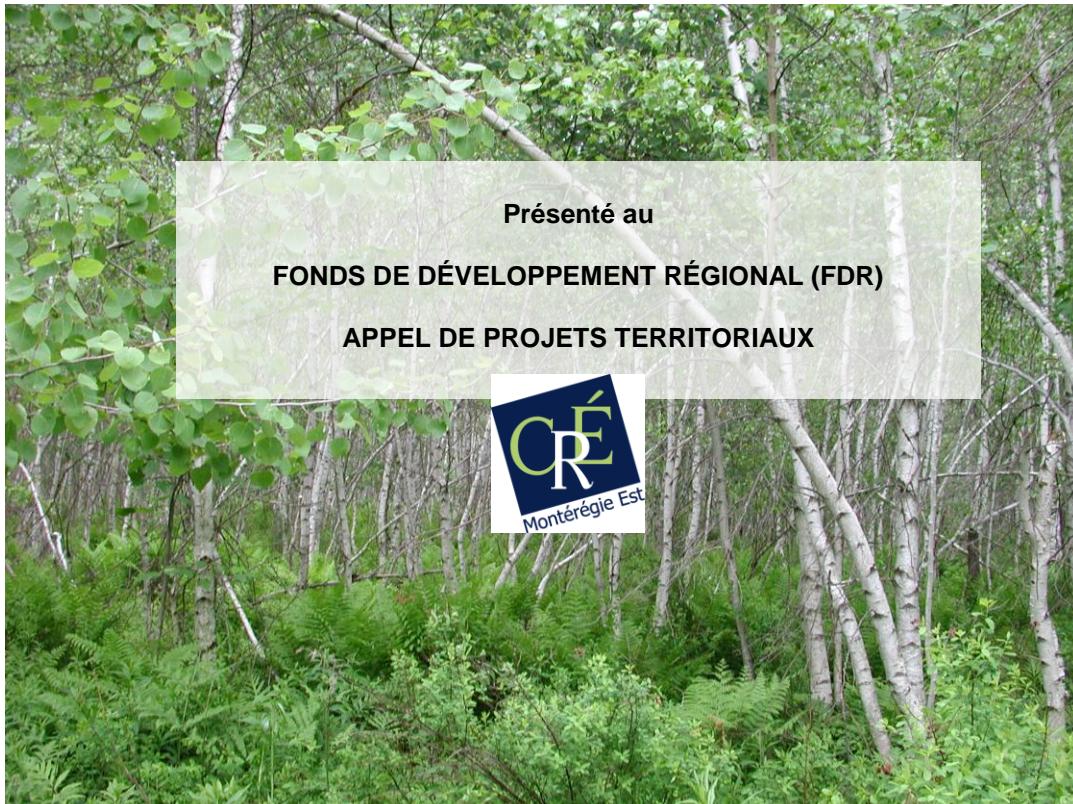




Institut de recherche
en biologie végétale

Potentiel d'enrichissement des forêts post-agricoles par la valorisation de la biomasse forestière



Par Alain Cogliastro

Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
Université de Montréal
et Jardin botanique de Montréal
4101 rue Sherbrooke Est
Montréal, Québec, Canada, H1X 2B2

Mars
2012

Institut de recherche en biologie végétale

L'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) est un centre de formation supérieure dont la mission porte sur la biologie des plantes dans tous ses aspects : fonctionnement, développement, évolution, écologie, etc. Issu d'un partenariat entre l'Université de Montréal et la Ville de Montréal, l'IRBV occupe des locaux modernes sur le site du Jardin botanique de Montréal. Il regroupe une quinzaine de chercheurs autonomes (chercheurs à la Division de la recherche et du développement scientifique du Jardin botanique de Montréal ou professeurs au Département de sciences biologiques de l'Université de Montréal) sans compter les nombreux assistants et chargés de recherche, étudiants à la maîtrise et au doctorat et chercheurs post-doctoraux. Les recherches sont de natures fondamentale et appliquée. Les chercheurs ont à leur disposition des laboratoires et des équipements scientifiques de pointe, en plus de serres expérimentales, de chambres de croissance, d'équipement de microscopie électronique et d'analyse d'image, de l'herbier Marie-Victorin (700 000 spécimens) et de deux bibliothèques spécialisées en botanique.

Équipe de travail et Collaborateurs

EMMANUELLE VIAU

Assist. de recherche, Bacc. Sc. Biologie

Eric Claeysen

Ph.D. Biochimie et physiologie végétale

PIERRE-OLIVIER GUIMOND

Assist. de recherche, Tech, écologie

STÉPHANE DAIGLE

Statisticien, Bacc. Statistique

Loïc D'ORANGEVILLE

M.Sc. ÉCOLOGIE FORESTIÈRE

ALAIN COGLIASTRO

Ph.D. Écologie forestière

Pour fin de citation :

Alain Cogliastro. 2012. Potentiel d'enrichissement des forêts post-agricoles par la valorisation de la biomasse forestière. Fonds de développement régional – Appel de projets territoriaux. CRÉ Montérégie Est. Institut de recherche en biologie végétale. 31p.

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de travail	2
TABLE DES MATIÈRES	3
1 Liste des tableaux	4
2 INTRODUCTION.....	5
3 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES ÉQUATIONS DE BIOMASSE.....	7
3.1 Types d'équations de biomasse pour les arbres (et les gaules).....	7
3.2 Types d'équations de biomasse pour les arbustes	8
4 choix des Équations de biomasse	9
4.1 Équations attribuées aux arbres et aux gaules	9
4.2 Équations attribuées aux arbustes.....	11
5 METHODOLOGIE	11
5.1 Région étudiée	11
5.2 Sélection des sites étudiés	12
5.3 Calcul de la biomasse par espèce.....	14
6 Résultats	15
6.1 Les différents scénarios d'ouverture du milieu.....	18
7 CONCLUSION	22
8 RÉFÉRENCES.....	23

1 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Âge des sites	12
Tableau 2 Biomasse (kg/ha) des différents types de végétation selon leur densité par hectare.....	16
Tableau 3 (suite) : Biomasse des différents types de végétation selon leur densité par hectare.	17
Tableau 4 Biomasse (kg/ha) issue de l'ouverture par trouée (200m ² et 400m ²)	20
Tableau 5 Biomasse (kg/ha) issue de l'ouverture par bandes (6m et 8m)	21

2 INTRODUCTION

Les forêts de la Montérégie-Est comprennent une forte proportion de jeunes peuplements qui se sont reconstitués suite à l'abandon d'activités agricoles sur des sols qui ne répondent plus aux exigences de l'agriculture intensive. L'analyse des cartes écoforestières révèle que les superficies de peuplements de feuillus intolérants atteignent 8 500ha dans la MRC d'Acton. Ces jeunes boisés sont dominés par des espèces de faible valeur et nous avons démontré dans une étude antérieure que la régénération est souvent déficiente en espèces d'arbres composant normalement les forêts matures¹. Des techniques sylvicoles peuvent permettre de rehausser la composition et la productivité forestière de ces milieux. Les investissements doivent cependant se faire sans pouvoir compter sur des revenus associés à la récolte de bois ; la valeur des bois dans un marché traditionnel n'y étant tout simplement pas. La valeur énergétique ou en composés à haute valeur (en cours de développement) de la ressource ligneuse pourrait cependant apporter des revenus permettant d'amortir les investissements liés à la préparation des sites, la plantation d'arbres de haute valeur, la protection aux cervidés, la maîtrise de la compétition, la taille de formation et d'élagage. Ainsi, les objectifs d'enrichissement des forêts et de développement d'une filière bois-énergie (et -nouveaux composés) pourraient être combinés de manière à assurer une utilisation durable de la ressource.

Une étude récente conduite par le Syndicat des propriétaires forestiers du sud-ouest de Montréal (SPFSOM)² portait sur le potentiel du territoire forestier de la Montérégie à alimenter en biomasse forestière la production d'énergie thermique. L'étude proposait une **stratégie** pour développer cette filière bois énergie dont deux des objectifs sont à souligner :

1 Améliorer le bilan économique de la gestion forestière, dans la mesure où des produits actuellement difficiles à mettre en marché (bois de friches, petits bois, billons de qualité médiocre, etc.) ou habituellement laissés en forêt (cime des arbres) sont mobilisés;

¹ D'Orangeville, L., Bouchard, A., et Cogliastro, A. 2008. Post-agricultural forests: landscape patterns add to stand-scale factors in causing insufficient hardwood regeneration. For. Ecol. Manage 255: 1637-1646.

² La biomasse forestière en montérégie : une contribution de la forêt privée pour une source d'énergie renouvelable (2009). Syndicat des propriétaires forestiers du sud-ouest de Montréal. Rapport final présenté à l'Agence forestière de la Montérégie.

2 Améliorer la qualité de la gestion forestière en valorisant ces produits de la forêt, le bois énergie permettant ainsi de mener les interventions sylvicoles qui, sans cela, seraient trop couteuses et ne pourraient être réalisées.

Les éléments proposés dans ce rapport pour atteindre l'objectif de la stratégie comprenaient la mise en place d'un Plan d'approvisionnement territorial qui devrait entre autre « ...déterminer de façon opérationnelle les quantités de bois susceptibles d'être mises en marché, leur localisation et les coûts de mobilisation associés. »

Le présent rapport vise à contribuer à ces objectifs et éléments composant la stratégie énoncée par le SPFSOM. Nous jugeons essentiel qu'au cours de cette démarche, l'objectif de rehaussement de la qualité générale des forêts soit en tête de liste, la valorisation de la biomasse constituant un moyen pour y parvenir.

Le rapport présente une quantification de la biomasse forestière des peuplements dégradés issus de l'abandon agricole, en analysant les proportions disponibles selon deux types d'enrichissement, par bandes et par trouées. L'enrichissement réfère ici à des activités d'aménagement qui procèdent par la plantation d'espèces à bois de haute valeur après qu'une ouverture du couvert soit pratiquée (bande ou trouée). Cette ouverture rendrait disponible la biomasse forestière à des fins énergétiques ou pour l'extraction des nouveaux composés, tout en créant des conditions de croissance pouvant être favorables à des arbres plantés.

3 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES ÉQUATIONS DE BIOMASSE

3.1 TYPES D'EQUATIONS DE BIOMASSE POUR LES ARBRES (ET LES GAULES)

Notre recherche bibliographique s'est orientée vers des équations déterminant la biomasse sèche de la partie ligneuse aérienne et pérenne à partir du diamètre à hauteur de poitrine (DHP, à 1,3 m de hauteur) pour les différentes espèces arborées recensées sur les sites d'échantillonnage. La biomasse aérienne et pérenne comprend le tronc et les branches, parties récoltées pour la valorisation énergétique de la biomasse. De plus, les équations de la forme $Biomasse=f(DHP)$ sont relativement abondantes dans la littérature et permettent de quantifier la biomasse aérienne pérenne avec précision à partir de mesures rapides et peu coûteuses (Jenkins *et al.*, 2003). D'une manière générale, ces équations s'appuient sur des données de biomasse obtenues pour des arbres en milieu forestier (Jenkins *et al.*, 2003 ; Lambert *et al.*, 2005). Les équations de type $Biomasse = f(DHP, hauteur de l'arbre)$ permettent des estimations plus précises - même si le DHP est l'élément déterminant dans la précision des résultats (Lambert *et al.*, 2005). Cependant, le gain en précision ne vaut que si la hauteur est mesurée correctement, ce qui n'est pas toujours aisés (Jenkins *et al.*, 2003). De plus, l'ajout de ce paramètre dans les équations de biomasse rend les mesures dendrométriques plus longues et coûteuses (Jenkins *et al.*, 2003). Les équations publiées quantifiant la biomasse aérienne sèche à partir de la seule mesure du DHP ont donc été retenues comme le meilleur compromis entre simplicité des mesures et précision des estimations.

Le choix de chaque équation trouvée dans la littérature a été fait sur la base des critères suivants, considérés dans cet ordre :

- équation propre à l'espèce, sinon au genre

- décrite par un coefficient de corrélation R^2 élevé
- établie à partir d'un large échantillon, sur une large gamme de DHP
- issue d'une étude menée au Canada ou dans un pays comparable pour son climat
- s'appuyant sur des données générées de façon similaire, voire à partir de mesures de terrain faites par les mêmes auteurs que pour d'autres équations retenues, de façon à obtenir un ensemble d'équations aussi fines et homogènes que possible.

3.2 TYPES D'EQUATIONS DE BIOMASSE POUR LES ARBUSTES

Comme pour les arbres, notre recherche bibliographique a porté sur des équations déterminant la biomasse sèche de la partie aérienne et pérenne des arbustes à partir d'un diamètre, cette fois le diamètre de chaque tige au niveau du sol (D_0). Bien qu'elles soient plus rares dans la littérature, les équations de cette forme établies à partir d'arbustes sont tout aussi fiables puisque seule une minorité d'équations ont un coefficient de corrélation R^2 légèrement inférieur à 0,9 (Telfer, 1969 ; Brown, 1976 ; Stanek et State, 1978 ; Roussopoulos et Loomis, 1979 ; Young *et al.*, 1980 ; Smith et Brand, 1983). En termes de facilité et de rapidité des mesures, par contre, des échantillonnages seront requis si de vastes étendues d'arbustes comportent un grand nombre de tiges à mesurer.

Le choix de chaque équation trouvée dans la littérature a été fait sur la base de critères identiques à ceux évoqués pour les équations de biomasse arborée :

- équation propre à l'espèce, sinon au genre
- décrite par un coefficient de corrélation R^2 élevé
- établie à partir d'un large échantillon, sur une gamme convenable de D_0
- issue d'une étude menée au Canada ou dans un pays comparable pour son climat

- s'appuyant sur des données générées de façon similaire, voire à partir de mesures de terrain faites par les mêmes auteurs que pour d'autres équations retenues, de façon à obtenir un ensemble d'équations aussi fines et homogènes que possible.

Pour certaines espèces, les équations de biomasse disponibles dans la littérature ont été établies à partir du D_{15} plutôt que du D_0 (Grigal et Ohmann, 1977 ; Roussopoulos et Loomis, 1979). Pour les espèces concernées, nous avons eu recours à des équations établies par Roussopoulos et Loomis (1979), qui transforment le D_0 mesuré sur le terrain en D_{15} utilisé dans l'équation de biomasse.

4 CHOIX DES ÉQUATIONS DE BIOMASSE

4.1 ÉQUATIONS ATTRIBUÉES AUX ARBRES ET AUX GAULES

VERS UNE MAJORITÉ D'ÉQUATIONS PROPRES AUX ESPÈCES. Quatorze espèces arborées ont été recensées sur les sites d'Acton, dont deux espèces conifériennes et douze espèces de feuillus. Nous avons pu attribuer des équations propres à 13 espèces recensées sur les sites et une équation de genre (*Populus*) à une autre espèce (*P. grandidentata*). L'existence d'équations de genre avec un coefficient de corrélation R^2 élevé suggère que la relation $Biomasse = f(DHP)$ est relativement bien conservée au sein de genres tels que *Betula*, *Populus* ou *Ulmus*.

La forme de l'équation, ses termes, la référence citée et le lieu d'étude figurent dans l'Annexe 1 pour chacune des 14 espèces. Sont également décrites pour chaque espèce la taille de l'échantillon, la gamme de DHP sur laquelle chaque équation a été établie, ainsi que la valeur moyenne de DHP de cette gamme, lorsque les données ont

été publiées (Annexe 1). La plupart des équations ont été établies sur une gamme de DHP de 5-40 cm, voire de 5-50 cm (Annexe 1). Certaines s'appuient sur des gammes de DHP plus larges encore, d'autres sur des gammes plus petites, notamment pour *Acer pensylvanicum* (1-8 cm) et *Betula populifolia* (2-22 cm). Dans leur ensemble, ces gammes de DHP rendent compte des tailles atteintes par les diverses espèces au cours de leur cycle de vie (Annexe 1).

L'étude de Lambert *et al.* (2005), corrigée et complétée par Ung *et al.* (2008), mérite d'être brièvement commentée ici. En effet, nous avons recours à des équations publiées par cette équipe pour 14 espèces arborées. Le fait d'utiliser autant d'équations établies par une même équipe, à partir de données générées de façon relativement homogène sur le territoire canadien, permet de limiter la disparité au sein de l'ensemble d'équations requises dans nos estimations. Il faut ajouter que ces équations sont générées à partir d'un modèle de régression robuste, permettant d'obtenir des estimations de biomasse relativement fiables et précises. Un point fort de ce modèle, notamment, est que les estimés de composantes de biomasse (bois, écorce, branchage et feuillage) sont tels que leur somme est égale à l'estimé de biomasse totale. En outre, le modèle est construit de façon à intégrer la dépendance entre les termes d'erreurs pour les différentes composantes d'un même arbre dans les estimés des paramètres du modèle et dans la variance de prédiction (Lambert *et al.*, 2005). En d'autres termes, le modèle se distingue par le fait qu'il rend compte de la dépendance des composantes de biomasse entre elles et avec la biomasse totale, ce qui améliore la fiabilité des estimations.

4.2 ÉQUATIONS ATTRIBUÉES AUX ARBUSTES

Neuf espèces arbustives ont été recensées aux sites d'Acton et nous avons pu attribuer des équations propres à deux espèces et à deux genres. L'existence d'équations de genre avec un coefficient de corrélation R^2 de 0,9 suggère que la relation $Biomasse = f(D_0)$ est relativement bien conservée au sein de genres tel que *Amelanchier*. Pour les cinq espèces d'arbustes non documentés dans la littérature, nous avons procédé à des appariements d'équations avec deux espèces comparables, soit *Amelanchier* sp. et *Acer spicatum*, en termes de morphologie et d'architecture. Pour les espèces, genres et variétés d'arbustes, la forme de chaque équation utilisée, ses termes, la référence citée, le lieu d'étude, la taille de l'échantillon et la gamme de D_0 ayant servi à établir l'équation figurent dans l'Annexe 3. Les équations de biomasse s'appuyant sur un D_{15} sont décrites avec les termes de l'équation linéaire utilisée pour convertir le D_0 mesuré sur le terrain en D_{15} utilisé dans l'équation (Annexe 2).

5 MÉTHODE

5.1 RÉGION ÉTUDIÉE

La région étudiée lors de ce projet est située dans le Sud du Québec, plus précisément dans la Municipalité régionale de Comté d'Acton ($45^{\circ}40' N$ $72^{\circ}33' W$) qui fait partie de la forêt décidue de la région des Grands Lacs et du St-Laurent (Rowe, 1972) et du domaine climacique de l'Érablière à Tilleul (Grandtner, 1966). Elle est caractérisée par une agriculture intensive et un couvert forestier de 41% (Soucy-Gonthier et al., 2003). Il y a également la présence d'anciens champs abandonnés entre les parcelles de

forêt. Ces terrains plus ou moins perturbés selon le cas, sont de plus en plus envahit par l'érable rouge (*Acer rubrum* L.), le bouleau gris (*Betula populifolia* Marsh.) et le Peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) (Meilleur et al., 1994).

5.2 SÉLECTION DES SITES ÉTUDIÉS

La méthode utilisée pour localiser les parcelles d'intérêts, utilise des images satellites de haute résolution (IKONOS-2). Ces images ont été analysées et traitées en détails (Delage et al., 2005), puis elles ont subit une interprétation visuelle, de même qu'une classification et une validation sur le terrain. Cela permettait de déterminer les sites ayant minimalement 0,5 ha de superficie, qui étaient dominés par des peuplements de feuillus intolérants à l'ombre. De plus, trois autres critères, obtenus par les cartes provinciales forestières, ont servi à la détermination des sites, soit un drainage des sols variant de bon à imparfait, une faible pente (< 4%) et une profondeur acceptable de sol (> 25cm). Les sites sélectionnés étaient tous caractérisés par une canopée fermée de feuillus intolérants à l'ombre et une surface variant entre 0,5 et 5 ha. Sur chaque site, quatre à six arbres dominants ont été sondés afin d'estimer le temps depuis l'abandon agricole qui variait entre 19 et 35 ans (moyenne de 27 ans) (voir Tableau 1).

Tableau 1 Âge des sites

Site	Âge	Site	Âge
1	20	5B	35
2	21	6	28
3	19	7	34
4	21	8	36
5A	35	9	26
		Moyenne	27

3.3 Échantillonnage des peuplements et mesures

L'échantillonnage s'est fait le long de transects et de points d'échantillonnage dont le nombre était proportionnel à la taille des sites.

La méthode centrée sur le point (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974) a été réalisée à partir de 2 à 4 transects par site, le long desquels un total de 5 à 25 points d'échantillonnage espacés de 5m a été effectué. Cette méthode est utilisée pour mesurer la composition en espèces et leurs importances relatives dans les différentes catégories définies, soit les arbustes ($DHP > 1\text{cm}$), les gaules ($1\text{cm} < DHP < 5\text{cm}$) et les arbres ($DHP > 5\text{cm}$). Chaque point représente le centre de quatre quadrants imaginaires, l'arbre, la gaule et l'arbuste le plus proche du point central de chaque quadrant est noté (espèce et diamètre) et la mesure de sa distance au point permet le calcul de la densité d'arbres, de gaules ou d'arbustes.

5.3 CALCUL DE LA BIOMASSE PAR ESPÈCE

Afin de pouvoir calculer la biomasse par espèce les équations proposées par Mitchell en 2007, de même que Cottam et al. (1953) et Morisita (1954) ont été utilisées pour déterminer la densité de chaque espèce (tiges/ha). Nous avons appliqué l'équation de densité absolue et celle de densité absolue par espèce. Le DHP moyen de chaque espèce permet (par les équations section 4) d'obtenir la biomasse moyenne d'un arbre de l'espèce qui, multiplié par sa densité, estime la biomasse sèche par espèce à l'hectare.

Équations	
Distance moyenne (Mitchell, 2007)	$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 R_{ij}}{4n}$.
Densité Absolue Cottam et al. (1953) et Morisita (1954)	Absolute density = $\tilde{\lambda} = \frac{1}{\bar{r}^2} = \frac{16n^2}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 R_{ij}\right)^2}$.
Densité absolue par espèce (Mitchell, 2007)	$\hat{\lambda}_k = \frac{\text{Quarters with species } k}{4n} \times \tilde{\lambda}$.

n : le nombre de point d'échantillonnage le long du transect

$4n$: le nombre d'échantillons, soit un pour chaque quart de chaque point.

i : un point sur le transect

j : un quart d'un point sur le transect

R_{ij} : la distance entre l'arbre et le point i sur le quart j

6 RÉSULTATS

**Les valeurs présentées entre parenthèses dans le texte expriment la valeur maximale et minimale de biomasse sèche.

Les sites sont fréquemment composés des arbustes *Prunus virginiana*, *Malus spp.* et *Salix* ssp. (Tableaux 2-3). Les deux dernières espèces représentent les fractions de biomasse arbustives les plus importantes, avec une moyenne pour *Malus spp.* de 3885 kg/ha (11271; 248) et *Salix spp.* de 978 kg/ha (3527; 83). *Prunus virginiana* est également abondant mais représente peu par rapport à la biomasse totale des arbustes avec une moyenne de 279 kg/ha (1404; 8). *Corylus cornuta*, *Cornus alternifolia*, *Cornus stolonifera* et *Rhamnus frangula* ne représentent généralement qu'une petite fraction des arbustes présents sur les sites (Tableaux 2-3).

En ce qui concerne les gaules, le Cerisier tardif, le Peuplier faux-tremble, le Bouleau gris et l'Érable rouge, sont les plus abondants et les plus importants en biomasse. Le cerisier tardif présente une moyenne de 1818 kg/ha (4300; 396), le peuplier de 1190 kg/ha (2268; 104), le Bouleau gris de 907 kg/ha (3749; 7), suivi de l'Érable rouge avec 772 kg/ha (2745; 11). Notons que les sites sont également composés du Bouleau blanc, Cerisier de Pennsylvanie, Frêne de Pennsylvanie, Peuplier à grande dent, Pin blanc et Tilleul d'Amérique, mais ces espèces forment une faible part de la biomasse (Tableaux 2-3).

Chez les arbres, la biomasse est bien partagée entre quatre principales espèces où le peuplier faux-Trembles présente une moyenne de 18592 kg/ha (37984; 1339), le bouleau gris une moyenne de 18551 kg/ha (45935; 1104) l'Érable rouge une moyenne de 14710 kg/ha (50646; 720) et le Cerisier tardif avec une moyenne de 13467 kg/ha (35194; 1559). Les Cerisier de Pennsylvanie, Érable à sucre, Peuplier à grande dent, Pin blanc, *Salix* ssp. et Tilleul d'Amérique, sont également présents mais ne représentent qu'une petite portion de la biomasse des sites (Tableaux 2-3).

Tableau 2 Biomasse (kg/ha) des différents types de végétation selon leur densité (nbre tiges/ha).

ams : Amelanchier sp.; bob : Bouleau blanc; bog : Bouleau gris; cep : Cerisier de Pennsylvanie; cet : Cerisier tardif; coa : *Cornus alternifolia*; coc : *Corylus cornuta*; cos : *Cornus stolonifera*; err : Érable rouge, ers : Érable à sucre; frp : Frêne d'Amérique; mal : *Malus* sp.; ora : Orme d'Amérique; peb : Peuplier baumier; peg : Peuplier à grande dent; pet : Peuplier faux-tremble; pib : Pin blanc; prv : *Prunus virginiana*; rhf : *Rhamnus frangula*; sab : Sapin baumier; sas : *Salix* ssp; tia : Tilleul d'Amérique; vic : *Viburnum cassinooides*.

Site	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha		Total
1	sas	3315,0	1491,8	bog err pet	2138,3 28,5 456,2	3749,2 11,4 265,2	bog pet pib	2534,3 169,0 28,2	32354,0 4829,2 2,8	Arbuste Gaule Arbre	1491,8 4025,8 37186,0
								2731,4	37186,0	Total	42703,5
					2623,0	4025,8	Total				
2	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha		Total
	coc	2320,5		bog	739,1	1337,8	bog	628,1	12132,8	Arbuste	5884,1
	mal	828,8	3418,6	cet	886,9	4198,0	ora	157,0	6469,4	Gaule	5979,3
	sas	414,4	124,3	err	73,9	51,7	err	52,3	6003,6	Arbre	56303,9
	prv	207,2	20,7	peb	73,9	288,2	pet	52,3	1999,5	Total	68167,3
3	Total	2900,6	5884,1	pet	73,9	103,5	cet	52,3	29698,7		
							Total	942,2	56303,9		
	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha		Total
	coc	7023,3	702,3	bog	671,9	880,9	bog	952,8	13028,0	Arbuste	2107,0
4	prv	14046,6	1404,7	cet	74,7	395,7	cet	86,6	1559,2	Gaule	4061,3
	Total	21070,0	2107,0	err	373,3	664,4	err	346,5	11321,5	Arbre	63892,4
				ora	74,7	209,0	pet	1386,0	37983,8	Total	70060,7
				pet	1119,8	1911,2	Total	2771,9	63892,4		
5A	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha		Total
	prv	2188,7	328,3	bog	332,9	765,6	bog	589,1	5216,8	Arbuste	11600,2
	mal	3283,1	11271,8	cep	665,7	1404,7	cep	196,4	1767,3	Gaule	4393,9
	Total	5471,8	11600,2	cet	266,3	705,7	pet	916,4	24244,8	Arbre	31948,9
				err	66,6	392,8	err	65,5	720,0	Total	47943,0
				ora	66,6	199,7	Total	1767,3	31948,9		
				pet	466,0	925,4					
				Total	1864,1	4393,9					
	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha		Total
	mal	295,6	364,6	cet	736,4	4300,7	bog	416,8	12115,8	Arbuste	1281,1
	prv	492,7	78,8	pet	1914,7	2268,2	cet	694,7	35194,2	Gaule	6657,2
	sas	591,3	837,6	tia	147,3	88,4	pet	833,7	8767,3	Arbre	58189,2
	Total	1379,6	1281,1	Total	2798,4	6657,2	tia	138,9	2111,9	Total	66127,5
							Total	2084,1	58189,2		

Tableau 3 (suite) : Biomasse (kg/ha) des différents types de végétation selon leur densité (nbre tiges/ha).

ams : Amelanchier sp.; bob : Bouleau blanc; bog : Bouleau gris; cep : Cerisier de Pennsylvanie; cet : Cerisier tardif; coa : *Cornus alternifolia*; coc : *Corylus cornuta*; cos : *Cornus stolonifera*; err : Érable rouge, ers : Érable à sucre; frp : Frêne d'Amérique; mal : *Malus* sp.; ora : Orme d'Amérique; peb : Peuplier baumier; peg : Peuplier à grande dent; pet : Peuplier faux-tremble; pib : Pin blanc; prv : *Prunus virginiana*; rhf : *Rhamnus frangula*; sab : Sapin baumier; sas : *Salix* ssp; tia : Tilleul d'Amérique; vic : *Viburnum cassinoides*.

Site	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha	Total
5B	ams	213,6	21,4	bog	577,2	346,3	bog	1485,8	30471,9	Arbuste 662,1
	prv	1068,0	170,9	cet	192,4	788,9	cet	270,1	5254,2	Gaule 3386,5
	sas	1495,2	469,9	err	192,4	635,0	err	135,1	2026,1	Arbre 68183,5
	Total	2776,7	662,1	ora	192,4	307,9	pet	540,3	30431,3	Total 72232,1
				pet	2501,4	1308,4	Total	2431,3	68183,5	
					3655,9	3386,5				
6	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha	Total
	prv	1412,2	282,4	bob	68,3	6,8	bob	67,0	602,6	Arbuste 737,5
	rhf	784,5	141,2	bog	546,2	901,3	bog	1205,3	45934,7	Gaule 2492,1
	sas	627,6	313,8	cet	273,1	696,4	cet	200,9	4265,4	Arbre 54338,2
	Total	2824,3	737,5	err	68,3	41,0	err	67,0	1861,5	Total 57567,8
				ora	68,3	75,1	ora	67,0	334,8	
				pet	955,9	771,5	pet	200,9	1339,2	
				Total	1980,0	2492,1	Total	1807,9	54338,2	
7	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha	Total
	ams	Tige/ ha	1150,4	bog	290,1	48,3	bog	355,0	7839,5	Arbuste 5304,5
	coc	319,6	16,0	cet	483,4	1643,7	cet	71,0	4828,6	Gaule 4911,6
	cos	79,9	8,0	err	1547,0	2745,9	err	1704,2	43557,3	Arbre 58909,5
	mal	79,9	4122,2	frp	96,7	19,3	peg	71,0	2684,2	Total 69125,7
	prv	79,9	8,0	peg	96,7	174,0	Total	2201,3	58909,5	
	vic	159,8	183,7	pib	96,7	145,0				
	Total	1597,8	5304,5	sab	96,7	135,4				
				Total	2707,2	4911,6				
8	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha	Total
	ams	827,1	82,7	err	1569,1	2416,4	bog	66,9	1104,4	Arbuste 1736,9
	coa	1654,2	82,7	pet	3242,7	1307,6	err	1271,7	50645,7	Gaule 3723,9
	coc	827,1	1075,3	Total	4811,8	3723,9	pet	100,4	23420,3	Arbre 75193,8
	mal	827,1	248,1				sas	33,5	23,4	Total 80654,7
	prv	827,1	82,7				Total	1472,6	75193,8	
	sas	827,1	82,7							
	vic	827,1	82,7							
	Total	6616,9	1736,9							
9	Espèce arbuste	Tiges/ ha	Kg/ha	Espèce gaule	Tiges/ha	Kg/ha	Espèce arbre	Tiges/ha	Kg/ha	Total
	sas	1951,5	3527,7	bog	273,9	127,8	bob	70,3	4507,6	Arbuste 3662,8
	prv	450,3	135,1	err	91,3	36,5	bog	421,9	25315,7	Gaule 2072,5
	Total	2401,8	3662,8	ora	91,3	36,5	ora	351,6	5949,2	Arbre 72543,5
				peb	91,3	9,1	err	140,6	1540,0	Total 78278,8
				pet	2465,1	1853,4	ers	70,3	921,2	
				sab	91,3	9,1	pet	1054,8	34309,8	
				Total	3104,2	2072,5	Total	2109,6	72543,5	

6.1 LES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS D'OUVERTURE DU MILIEU

Le projet propose de quantifier la biomasse forestière disponible des peuplements dégradés issus de l'abandon agricole, avec l'objectif de connaître les proportions exploitables selon deux types d'enrichissement, par bandes et par trouées. Rappelons que l'enrichissement réfère ici à des activités d'aménagement qui procèdent par la plantation d'espèces à bois de haute valeur après qu'une ouverture du couvert soit pratiquée par bandes ou par trouées. Ces ouvertures rendraient disponible la biomasse forestière à des fins énergétiques ou pour une autre forme de valorisation telle que l'extraction de nouveaux composés, tout en créant des conditions de croissance pouvant être favorables à des arbres plantés. L'éventuel retour financier de cette utilisation de la biomasse forestière pourrait permettre de soutenir les investissements liés à l'enrichissement de ces trouées et bandes par la plantation d'espèces de haute valeur.

Des scénarios d'ouverture du milieu sont ici présentés selon deux dimensions de trouées (200m^2 et 400m^2) ou largeurs de bandes (6m et 8m) et selon différents espacements entre elles, là où la végétation demeure intacte (tableaux 4 et 5).

- Le scénario 1 consiste à effectuer des trouées circulaires de 200m^2 , soit selon un diamètre de trouée de 16 m.
 - Si l'espacement entre les trouées (là où la végétation est laissée intacte) est de 8 mètres, 16 trouées par hectare sont possibles ce qui permettrait de retirer 32 % de la biomasse.
 - Si l'espacement entre les trouées comprend plutôt 4 mètres de végétation laissée intacte, 25 trouées par hectare sont possibles ce qui permettrait de retirer 50 % de la biomasse.
 - Sans espacement entre les trouées circulaires, c'est 36 trouées par hectare possibles qui totalisent 72% de la biomasse.
- Le scénario 2 intègre des trouées de 400 m^2 d'un diamètre de 22,5 m.
 - Avec 8 mètres d'espacement entre elles, 9 trouées/ha sont pratiquées totalisant 36% de la biomasse.
 - Selon 4m d'espacement, c'est 12 trouées/ha et 48% de la biomasse récoltée.
 - Sans espacement entre les trouées c'est 20 trouées/ha et 80% de la biomasse récoltée.

Tableau 4 Biomasse (kg/ha) issue de l'ouverture par trouée (200m² et 400m²)

		trouées espacement			200m ² (16m diamètre)					trouées espacement			400m ² (22m diamètre)					
		8m	4m	0m							8m	4m	0m					
		Nb de trouées/ha	16	25	36			Nb de trouées/ha	9	12	20			% surface	36%	48%	80%	
Site	Biomasse totale Kg/ha sèche		Biomasse extraite Kg/ha sèche			Site		Biomasse extraite Kg/ha sèche				Site		Biomasse extraite Kg/ha sèche				
1	42704		13665		21352		30747					1		15373		20498		34163
2	68167		21814		34084		49080					2		24540		32720		54534
3	70061		22419		35030		50444					3		25222		33629		56049
4	47943		15342		23971		34519					4		17259		23013		38354
5A	66127		21161		33064		47612					5A		23806		31741		52902
5B	72232		23114		36116		52007					5B		26004		34671		57786
6	57568		18422		28784		41449					6		20724		27633		46054
7	69126		22120		34563		49770					7		24885		33180		55301
8	80655		25809		40327		58071					8		29036		38714		64524
9	78279		25049		39139		56361					9		28180		37574		62623
moyenne			20892		32643		47006					moyenne		23503		31337		52229
écart type			3948		6169		8884					écart type		4442		5922		9871

Les scénarios suivants sont présentés pour intégrer la pratique de l'ouverture par bandes, ce qui faciliterait largement l'opération de récolte de même que le suivi des arbres plantés en vue de l'enrichissement.

- Le scénario 3 intègre des ouvertures par bandes de 6m de largeur (un minimum à conserver).
 - Espacées par des interbandes de végétation laissée intacte larges de 6m, l'approche permet 8 bandes/ha, soit une récolte de 48% de la biomasse totale.
 - Si la largeur des interbandes passe à 4m, c'est l'ouverture de 10 bandes représentant 60% de la biomasse totale qui est rendu possible d'extraire.
 - Si la largeur des interbandes passe à 2m, c'est l'ouverture de 12 bandes représentant une extraction de 72% de la biomasse totale.

- Le scénario 4 intègre des bandes ouvertes de 8m de largeur.
 - Espacées par des interbandes de végétation intacte larges de 6m, l'approche permet l'ouverture de 7 bandes/ha soit une récolte de 56% de la biomasse totale.
 - Si la largeur des interbandes passe à 4m, c'est 8 bandes/ha soit 64% de la biomasse qui devient récoltable.
 - Si la largeur des interbandes passe à 2m, c'est 10 bandes/ha soit 80% de la biomasse pouvant être récoltée.

Tableau 5 Biomasse (kg/ha) issue de l'ouverture par bandes (6m et 8m)

		largeur bande espacement			6m			largeur bande espacement			8m		
		6m	4m	2m	6m	4m	2m	7	8	10	56%	64%	80%
Site	Biomasse totale Kg/ha sèche	Biomasse extraite Kg/ha sèche			Site	Biomasse extraite Kg/ha sèche							
1	42704	20498	25622	30747	1	23914	27330	34163					
2	68167	32720	40900	49080	2	38174	43627	54534					
3	70061	33629	42036	50444	3	39234	44839	56049					
4	47943	23013	28766	34519	4	26848	30683	38354					
5A	66127	31741	39676	47612	5A	37031	42322	52902					
5B	72232	34671	43339	52007	5B	40450	46229	57786					
6	57568	27633	34541	41449	6	32238	36843	46054					
7	69126	33180	41475	49770	7	38710	44240	55301					
8	80655	38714	48393	58071	8	45167	51619	64524					
9	78279	37574	46967	56361	9	43836	50098	62623					
moyenne		31337	39172	47006									
écart type		5922	7403	8884									

7 CONCLUSION

Par les différents scénarios d'ouverture par trouées ou par bandes pratiqués dans des peuplements de feuillus intolérants, la biomasse sèche disponible pourrait être de l'ordre de 23 tonnes ($\pm 4,4$) à 52 tonnes ($\pm 9,8$) de matière sèche par hectare en incluant les arbres, gaules et arbustes. Le choix d'appliquer un scénario de retrait intensif (80% de la surface) ou moins intensif (30% de la surface) reste à discuter mais devrait être modulé notamment en fonction des caractéristiques écologiques des sites (Paré et al. 2011). Les sites au drainage excessif ou à teneur trop faible en matière organique ou en éléments nutritifs, ou celles soumises à des impératifs de biodiversité ou de conservation doivent être abordés plus prudemment en considérant ces facteurs.

Certains indicateurs liés à la proportion des résidus de coupes pouvant être récoltés à des fins de valorisation énergétique ont été publiés. Ainsi, Sur l'ensemble du territoire de l'Union européenne, l'inclusion de facteurs de qualité de station a réduit de 40 % le volume total potentiel de résidus de coupe récoltables. (European Environment Agency 2006). D'autres autorités prescrivent la proportion de résidus qui doit être laissée sur le site (ex : 20 % en Suède [Skogsstyrelsen 2008] et 30 % en Finlande [Koistinen et Äijälä 2005]). Notons toutefois qu'il s'agit ici de résidus de coupe. Les approches d'enrichissement par trouées ou par bandes présentées dans le présent rapport comprennent déjà une proportion de végétation laissée en place. De plus, la récolte de telles surfaces ne peuvent prétendre atteindre une efficacité de 100%. Une fraction de la biomasse récoltable restera sur le site. Toutefois, les facteurs opérationnels et économiques qui déterminent le taux de récupération de la biomasse évolueront en fonction de l'équipement et des types d'aménagement forestier, de la valeur marchande des produits, des appuis et politiques gouvernementales. En somme, nous devons demeurer vigilants pour ne pas compromettre la fertilité des sites à long terme.

La présente analyse a permis de préciser l'étendue des valeurs de biomasse que les jeunes forêts issues de l'abandon des activités agricoles du passé, nombreuses dans la MRC d'Acton, peuvent contenir. L'outil peut dès lors permettre d'estimer la valeur monétaire de la biomasse de tels sites. Ainsi nous pourrons poursuivre la réflexion et l'ajustement de programmes qui visent le rehaussement de la qualité des forêts en considérant l'apport potentiel de la biomasse forestière des jeunes forêts de transition à cet objectif qu'il ne faut pas perde de vue.

8 RÉFÉRENCES

- Alden**, H.A.. 1995. *Hardwoods of North America*. Publication: U.S.D.A. For. Serv., Madison, WI, USA. Gen. Tech. Rep. 83, pp. 1-136.
- Alden**, H.A., 1997. *Softwoods of North America*. Publication : U.S.D.A. For. Serv., Madison, WI, USA. Gen. Tech. Rep. 102, pp. 1-151.
- Battaglia**, L.L., **Minchin**, P.R. et **Pritchett**, D.W.. 2002. *Sixteen years of old-field succession and reestablishment of a bottomland hardwood forest in the Lower Mississippi Alluvial Valley*. Wetlands 22, 1-17.
- Boyoucos**, G. J.. 1962. *Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils*. Agronomy Journal 54, 464-465.
- Brown**, J.K., 1976. *Estimating shrub biomass from basal stem diameters*. Can. J. For. Res. 6:153-158.
- Cottam**, G., **Curtis**, J. T. et **Wilde Hale**, B.. 1953. *Some sampling characteristics of a population of randomly dispersed individuals*. Ecology. 34(4):741-757 <http://www.jstor.org/stable/1931337>.
- Delage**, M., **Soucy-Gonthier**, N., **Marceau**, D., **Nicaise Mezui**, L., **Cogliastro**, A. et **Bouchard**, A.. 2005. *Détection et caractérisation des friches pour leur mise en valeur forestière en Montérégie*. Institut de recherche en biologie végétale. Réseau Ligniculture Québec. Département de géographie de l'Université de Montréal. Montréal. p. 55.
- D'Orangeville**, L., **Bouchard**, A. et **Cogliastro**, A.. 2008. *Post-agricultural forests: Landscape patterns add to stand-scale factors in causing insufficient hardwood regeneration*. Forest Ecology and Management 225, 1637-1646.
- Environment Canada**. 2004. Climate normals 1971-2000. http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/index_e.html.
- European Environment Agency**. 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No. 7/2006. Disponible en ligne : http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_7
- Gehring**, C., **Park**, S. et **Denich**, M., 2004. *Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary forest*. For. Ecol. Manage. 195:69-83.

Grandtner, M.M.. 1966. *La végétation forestière du Québec méridional*. Presses de l'Université Laval, Québec. 216 p.

Grigal, D.F. et **Ohmann**, L.F.. 1977. *Biomass estimation for some shrubs from northeastern Minnesota*. Publication: USDA For. Serv.. St Paul. MN. USA. Res. Note NC-226. p. 1-3.

Hocker, H.W. et **Early**, D.J.. 1983. *Biomass and leaf area equations for northern forest species*. Publication : Univ. New Hampshire Agric. Exp. Stn.. Durham. NH. USA.. Res. Pap. 102.

Lambert, M-C., **Ung**, C.-H. et **Raulier**, F.. 2005. *Canadian national tree aboveground biomass equations*. Can. J. For. Res. 35: 1996-2018.

Jenkins, J. C., **Chojnacky**, D. C., **Health**, L. S. et **Birdsey**, R. A.. 2003. *National-scale biomass estimators for United States tree species*. For. Sci. 49: 12-35.

Koistinen, A. et O. Äijälä. 2005. Energiapuun korjuu [En finlandais. Récolte de bois énergie]. Tapio, Helsinki, Finlande. 40 p.

Meilleur, A., **Bouchard**, A. et **Bergeron**, Y.. 1994. *The relation between geomorphology and forest community types of the Haut-Saint-Laurent*. Quebec. Vegetatio 111: 173-192.

Mitchell, K.. 2007. *Quantitative Analysis by the Point-Centered Quarter Method*. Department of Mathematics and Computer Science Hobart and William Smith Colleges. Geneva. NY 14456

Monteoliva, S., **Senisterra**, G. et **Marlats**, R.. 2005. *Variation of wood density and fibre length in six willow clones (Salix spp.)*. IAWA J. 26:197-202.

Morisita, M.. 1954. *Estimation of population density by spacing method*. Memoirs Fac. Sci. Kyushu Univ.. 1:187-197.

Mueller-Dombois, D. R. et **Ellenberg**, H.. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley & Sons. New York. p. 547.

Murcia, C. 1995. *Edge effects in fragmented forests: implications for conservation*. Trends in Ecology and Evolution 10, 58-62.

Paré, D, **Bernier**, P.Y., **Thiffault**, E., et **Titus**, B. D. 2011. Le potentiel de la biomasse forestière comme source d'énergie pour le Canada. The Forestry Chronicle Vol. 87, No. 1, Pages 71–76.

Perala, D.A. et **Alban**, D.H.. 1994. *Allometric biomass estimators for aspen-dominated ecosystems in the upper Great Lakes*. Publication: U.S.D.A. For. Serv.. St Paul. MN. USA. Res. Pap. NC-314. pp. 1-38.

Repola, J., 2006. *Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density*. Silva Fenn. 40:673-685.

Roussopoulos, P.J. et **Loomis**, R.M.. 1979. *Weights and dimensional properties of shrubs and small trees of the Great Lakes conifer forest*. Publication: U.S.D.A. For. Serv.. St Paul. MN. USA. Res. Pap. J. NC-178. pp. 1-8.

Rowe, J.S.. 1972. *Les régions forestières du Canada*. Publ. n. 1300F. Service canadien des forêts. Ministère de l'environnement. Canada. 172 p

Skogsstyrelsen. 2008. Recommendations for extraction of forest residues and ash recycling. Directive 2-2008 [En suédois]. 33 p.

Smith, W.B. et **Brand**, G.J.. 1983. *Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs and small trees*. Publication: USDA For. Serv., St Paul, MN, USA. Res. Pap. J. NC-299.

Soucy-Gonthier, N., **Marceau**, D., **Delage**, M., **Cogliastro**, A., **Domon**, G. et **Bouchard**, A.. 2003. *Détection de l'évolution des superficies forestières en Montérégie entre juin 1999 et août 2002 à partir d'images satellites Landsat-Tm*. Agence forestière de la Montérégie. Institut de Recherche en Biologie Végétale. Montréal. p. 34

Stanek, W. et **State**, D.. 1978. *Equations predicting primary productivity (biomass) of trees, shrubs and lesser vegetation based on current literature*. Publication: Can. For. Serv.. Victoria, BC. Canada. BC-X-183.

Telfer, E. S., 1969. *Weight-diameter relationships for 22 woody plant species*. Can. J. Bot. 47: 1851-1855

Ung, C.-H., **Bernier**, P. et **Guo**, X.-J.. 2008. *Canadian national biomass equations: New parameter estimates that include British Columbia data*. Can. J. For. Res. 38:1123-1132.

Wenger, K.F., 1984. *Timber measurements*. Dans *Forestry handbook*. Wenger, K.F., ed. Publication : Wiley & Sons, New York, NY, USA. ISBN 0-471-06227-8. pp. 253-361.

Wharton, E.H., **Alerich**, A.L. et **Drake**, D.A.. 1997. *Estimating total forest biomass in New York, 1993*. Publication: U.S.D.A. For. Serv., Radnor, PA, USA. Resour. Bull. NE-139, pp. 1-48.

Wharton, E.H. et Griffith, D.M., 1998. *Estimating total forest biomass in Maine, 1995.*

Publication: U.S.D.A. For. Serv., Res. Bull NE-142. pp. 1-27.

Young, H.E., Ribe, J.H. et Wainwright, K.. 1980. *Weight tables for tree and shrub species in Maine.* Publication: Univ. of Maine. Life Sci. Agric. Exp. Stn.. Orono. ME. USA. Misc. Rep. 230. pp. 1-84.

Annexe 1. Équations de biomasse appliquées aux arbres et gaules

Nom latin Nom vernaculaire français Nom vernaculaire anglais	Type d'équation ^a et référence ^b	Région	Taille de l'échan- -tillon	gamme de DHP ou D ₁₅ (cm)	Moyenne ± écart- -type des DHP	Termes de l'équation	Valeur des termes
Feuillus							
<i>Acer rubrum</i> érable rouge red maple	équation 1 références 1 et 2	Canada	177	2 - 56	19,9 ± 0,8	a bois b bois a écorce b écorce a brancheage b brancheage	0,1014 2,3448 0,0291 2,0893 0,0175 2,4846
<i>Acer saccharum</i> érable à sucre sugar maple	équation 1 références 1 et 2	Canada	235	2 - 58	19,9 ± 0,8	a bois b bois a écorce b écorce a brancheage b brancheage	0,1315 2,3129 0,0631 1,9241 0,033 2,3741
<i>Betula papyrifera</i> bouleau à papier, bouleau blanc white birch, paper birch	équation 1 références 1 et 2	Canada	629	1,5 - 44	16,4 ± 0,3	a bois b bois a écorce b écorce a brancheage b brancheage	0,0604 2,4959 0,014 2,3923 0,0147 2,5227
<i>Betula populifolia</i> bouleau gris (à feuilles de peuplier) gray birch	équation 1 références 1 et 2	Canada	43	2,2 - 23	10,3 ± 0,8	a bois b bois a écorce b écorce a brancheage b brancheage	0,072 2,3885 0,0168 2,2569 0,0088 2,5689
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> frêne rouge, frêne de Pennsylvanie red ash, green ash	équation 1 références 1 et 2	Canada	27	5 - 40	21,1 ± 1,8	a bois b bois a écorce b écorce a brancheage b brancheage	0,1571 2,1817 0,0416 2,0509 0,0177 2,337
<i>Populus balsamifera</i> peuplier baumier balsam poplar	équation 1 références 1 et 2	Canada	207	2 - 53	21,5 ± 0,8	a bois b bois a écorce b écorce a brancheage b brancheage	0,051 2,4529 0,0297 2,1131 0,012 2,4165

Nom latin Nom vernaculaire français Nom vernaculaire anglais	Type d'équation ^a et référence ^b	Région	Taille de l'échan -tillon	gamme de DHP ou D ₁₅ (cm)	Moyenne ± écart- type des DHP	Termes de l'équation	Valeurs des termes
<i>Populus grandidentata</i> peuplier à grandes dents, peuplier à larges feuilles largetooth aspen, big-tooth aspen	équation 1 pour le genre <i>Populus</i> références 1 et 2	Canada	79	1,5 - 39	15,8 ± 0,7	a bois b bois a écorce b écorce a branchage b branchage	0,0959 2,343 0,0308 2,224 0,0047 2,653
<i>Populus tremuloides</i> peuplier faux-tremble trembling/ quaking aspen	équation 1 références 1 et 2	Canada	799	0,7 - 47	17,7 ± 0,3	a bois b bois a écorce b écorce a branchage b branchage	0,0608 2,4735 0,0159 2,4123 0,0082 2,5139
<i>Prunus pensylvanica</i> cerisier de Pennsylvanie pin cherry, fire cherry	équation 2 référence 3	New Hampshire	12	1 - 14	--	a b	4,54 2,41
	équation 8 référence 10	Maine	--	15 - 24	--	a tronc b tronc a branchage b branchage	0,0951 2,2988 0,0406 1,9197
<i>Prunus serotina</i> cerisier tardif black cherry	équation 1 références 1 et 2	Canada	78	0,9 - 50	22 ± 1,3	a bois b bois a écorce b écorce a branchage b branchage	0,3743 1,9406 0,0679 1,8377 0,0796 2,0103
<i>Tilia americana</i> tilleul d'Amérique Basswood	équation 1 références 1 et 2	Canada	80	3,7 - 55	26,5 ± 1,6	a bois b bois a écorce b écorce a branchage b branchage	0,0562 2,4102 0,0302 2,0976 0,023 2,2382
<i>Ulmus americana</i> orme blanc d'Amérique white elm, American elm	équation 1 références 1 et 2	Canada	81	0,7 - 55	20,3 ± 1,1	a bois b bois a écorce b écorce a branchage b branchage	0,0402 2,5804 0,0073 2,4859 0,0401 2,1826

Conifères

	équation 1 références 1 et 2	Canada	199	1,5 - 69	28,7 ± 1,1		
						a bois	0,0997
<i>Pinus strobus</i> pin blanc eastern white pine						b bois	2,2709
						a écorce	0,0192
						b écorce	2,2038
						a branchage	0,0056
						b branchage	2,6011
<i>Abies balsamea</i> sapin baumier balsam fir	équation 1 références 1 et 2	Canada	639	1,5 - 42	16,4 ± 0,4	a bois	0,0534
						b bois	2,403
						a écorce	0,0115
						b écorce	2,3484
						a branchage	0,007
						b branchage	2,5406

^a Équation 1 : Biomasse = a _{bois} x (DHP) ^b _{bois} + a _{écorce} x (DHP) ^b _{écorce} + a _{branchage} x (DHP) ^b _{branchage}

Diamètre à hauteur de poitrine (DHP) en cm, biomasse en kg

Équation 2 : ln (Biomasse) = a + b x ln (DHP)

DHP en cm, biomasse convertie de g en kg

Équation 10 : Biomasse = a x (DHP)² ^b

DHP converti de cm en po, biomasse convertie de lb en kg

Équation 11 : Biomasse = a x (DHP) ^b x c

DHP en cm, biomasse en kg

^b Références 1 et 2 : étude de Lambert *et al.* (2005) complétée et corrigée par Ung *et al.* (2008)

Référence 3 : Hocker et Early (1983)

Référence 13 : Perala et Alban (1994)

Annexe 2. Équations de biomasse appliquées aux espèces arbustives

Nom latin Nom vernaculaire français Nom vernaculaire anglais	Type d'équation ^a et référence ^b	Région	Taille de l'échantillon	gamme de D ₀ (cm)	Termes de l'équation	Valeurs des termes
Arbustes feuillus						
<i>Acer spicatum</i> érable à épis mountain/spiked maple	équation 1 de <i>Acer spicatum</i> référence 1	Minnesota, USA	27	0,5 – 1,75	a_{bois} b_{bois} A B	43,66 2,63 0,1645 1,0485
<i>Amelanchier</i> spp. amélanchier spp. amelanchier spp.	équation 1 de <i>Amelanchier</i> spp. référence 1	Minnesota, USA	27	0,5 – 1,75	a_{bois} b_{bois} A B	37,909 2,963 0,0142 1,1037
<i>Cornus alternifolia</i> cornouiller à feuilles alternes alternate-leaf dogwood	équation 1 de <i>Acer spicatum</i> référence 1	Minnesota, USA	27	0,5 – 1,75	a_{bois} b_{bois} A B	43,66 2,63 0,1645 1,0485
<i>Cornus stolonifera</i> , <i>C. sericea</i> cornouiller stolonifère red osier dogwood	équation 3 référence 3	Idaho et Montana, USA	31	0,6 - 3,4	$a_{bois + feuillage}$ $b_{bois + feuillage}$ a_{bois} b_{bois}	39,686 2,575 9,45 1,762
<i>Malus</i> sp.	équation 1 de <i>Amelanchier</i> spp. référence 1	Minnesota, USA	27	0,5 – 1,75	a_{bois} b_{bois} A B	37,909 2,963 0,0142 1,1037
<i>Prunus virginiana</i> cerisier de Virginie chokecherry	équation 3 référence 3	Idaho et Montana, USA	31	0,6 - 2,9	$a_{bois + feuillage}$ $b_{bois + feuillage}$ a_{bois} b_{bois}	29,934 2,92 8,846 1,902
<i>Rhamnus frangula</i> nerprun bourdaine glossy buckthorn	équation 1 de <i>Acer spicatum</i> référence 1	Minnesota, USA	27	0,5 – 1,75	a_{bois} b_{bois} A B	43,66 2,63 0,1645 1,0485
<i>Salix</i> spp. saule arbustif spp. willow (shrub) spp.	équation 3 de <i>Salix</i> spp. référence 3	Idaho et Montana, USA	31	0,7 - 3,7	$a_{bois + feuillage}$ $b_{bois + feuillage}$ a_{bois} b_{bois}	27,194 2,762 6,411 2,066
<i>Viburnum cassinoides</i>	équation 1 de <i>Acer spicatum</i> référence 1	Minnesota, USA	27	0,5 – 1,75	a_{bois} b_{bois} A B	43,66 2,63 0,1645 1,0485

^a Équation 1 : Biomasse = $a_{bois} \times (D_{15})^{b_{bois}}$ avec $D_{15} = D_0/B - A/B$ d'après la référence 4
Diamètre au sol (D_0) en cm, converti en diamètre à 15 cm du sol (D_{15}), biomasse convertie de g en kg

Équation 2 : $\ln(\text{Biomasse}) = [a_{bois+feuillage} + b_{bois+feuillage} \times \ln(DE_{30})] - [a_{bois} + b_{bois} \times \ln(DE_{30})]$
avec $DE_{30} = A \times DHP + B \times DHP^2$
Diamètre au sol (D_0) en cm, converti en diamètre d'extension de tige (DE_{30}) à 30 cm de la ramification, en mm, biomasse convertie de g en kg (DHP : diamètre à hauteur de poitrine, considéré équivalent au D_0 pour des lianes tropicales)

Équation 3 : Biomasse = $a_{bois+feuillage} \times (D_0)^{b_{bois+feuillage}} - a_{feuillage} \times (D_0)^{b_{feuillage}}$
Diamètre au sol (D_0) en cm, biomasse convertie de g en kg

Équation 4 : $\ln(\text{Biomasse}) = [a_{bois+feuillage} + b_{bois+feuillage} \times \ln(D_{15})] - [a_{bois} + b_{bois} \times \ln(D_{15})]$
avec $D_{15} = D_0/B - A/B$ d'après la référence 4
Diamètre au sol (D_0) en cm, converti en diamètre à 15 cm du sol (D_{15}), biomasse convertie de g en kg

^b Référence 1 : Grigal et Ohmann (1977)

Référence 2 : Gehring *et al.* (2004)

Référence 3 : Brown (1976) cité par Smith et Brand (1983)

Référence 4 : Roussopoulos et Loomis (1979)

Référence 6 : Telfer (1969) cité par Stanek et State (1978)