

POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT LIÉ AUX EXTRACTIBLES FORESTIERS : ÉTAT DES CONNAISSANCES ET REVUE DES MARCHÉS

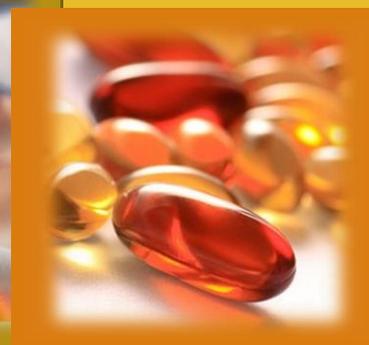


2010

VOLET 1: LES EXTRACTIBLES FORESTIERS QUÉBÉCOIS



Quebec Wood Export Bureau



Auteurs :

**Mariana Royer, Ph.D.
Robert Houde, M.Sci**

Tatjana Stevanovic, ing., Ph.D
Département des sciences du bois et de la forêt, CRB,
Université Laval

Volet 1



Centre de
recherche
sur le bois



UNIVERSITÉ
LAVAL



SOMMAIRE

VOLET 1

<i>GLOSSAIRE</i>	1
1. Introduction	9
1.1. Le contexte actuel de l'industrie forestière du Québec	9
1.2. But du mandat	12
2. Principales espèces sylvicoles au Québec et répartition géographique	14
2.1. Zones de végétation du Québec	14
2.2. Répartition géographique – feuillus vs résineux	19
2.3. Gestion de la forêt du Québec : Répartition du territoire forestier.....	23
2.4. Proportions des sous-produits forestiers selon les régions	26
3. Voies de conversion de la biomasse ligno-cellulosique	32
3.1. Les hémicelluloses	34
3.2. La lignine.....	36
3.3. La cellulose	37
3.4. Les extractibles.....	38
4. Les extractibles forestiers	39
4.1. Classification des extractibles et leurs propriétés	39
4.1.1. Gros plan sur les terpènes et terpénoïdes	41
4.1.1.1. Leur nature et leurs propriétés	41
4.1.1.2. Applications les plus courantes.....	43
4.1.2. Gros plan sur les polyphénols	44
4.1.2.1. Leur nature et leurs propriétés	44
4.1.2.2. Applications courantes.....	47
5. État des connaissances sur les extractibles des essences du Québec	48
5.1. Les extractibles des feuillus du Québec	48
5.1.1. Les extractibles des essences feuillues d'intérêt commercial	49

5.1.1.1.	L'érable : genre <i>Acer</i>	49
5.1.1.1.1.	<i>Les diverses espèces présentes au Canada</i>	49
5.1.1.1.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière au Québec</i>	50
5.1.1.1.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	51
5.1.1.1.4.	<i>Les extractibles connus des érables et leurs propriétés biologiques</i>	53
5.1.1.1.5.	<i>Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	56
5.1.1.2.	Le bouleau : genre <i>Betula</i>	58
5.1.1.2.1.	<i>Les diverses espèces présentes au Canada</i>	58
5.1.1.2.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	59
5.1.1.2.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	60
5.1.1.2.4.	<i>Les extractibles connus des bouleaux du Québec et leurs propriétés biologiques</i>	61
5.1.1.2.5.	<i>Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	67
5.1.1.3.	Le Peuplier : genre <i>Populus</i>	70
5.1.1.3.1.	<i>Les diverses espèces présentes au Canada</i>	70
5.1.1.3.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	71
5.1.1.3.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	73
5.1.1.3.4.	<i>Les extractibles connus des peupliers du Québec et leurs propriétés biologiques</i>	74
5.1.1.3.5.	<i>Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	78
5.1.1.4.	Le chêne : genre <i>Quercus</i>	79
5.1.1.4.1.	<i>Les diverses espèces présentes au Canada</i>	79
5.1.1.4.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	80
5.1.1.4.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	81
5.1.1.4.4.	<i>Les extractibles connus des chênes du Québec et leurs propriétés biologiques</i>	82
5.1.1.4.5.	<i>Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	85
5.1.2.	Notes sur les extractibles des feuillus secondaires du Québec	86
5.1.2.1.	Le Frêne : genre <i>Fraxinus</i>	86
5.1.2.2.	L'Orme : genre <i>Ulmus</i>	87
5.1.2.3.	Le Tilleul: genre <i>Tilia</i>	89
5.1.2.4.	Le Noyer : genre <i>Juglans</i>	90
5.1.2.5.	Le Caryer : genre <i>Carya</i>	92
5.1.3.	Bilan : le potentiel de développement lié aux extractibles des feuillus	93
5.2.	Les extractibles des résineux du Québec.....	94
5.2.1.	Les extractibles des essences résineuses d'intérêt commercial	95
5.2.1.1.	L'épinette : genre <i>Picea</i>	95
5.2.1.1.1.	<i>Les diverses espèces présentes au Canada</i>	95
5.2.1.1.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	96
5.2.1.1.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	97
5.2.1.1.4.	<i>Les extractibles connus des épinettes du Québec et leurs propriétés biologiques</i>	100
5.2.1.1.5.	<i>Les huiles essentielles d'épinette</i>	104
5.2.1.1.6.	<i>Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	105
5.2.1.2.	Le pin : genre <i>Pinus</i>	107

5.2.1.2.1.	<i>La diversité des espèces présentes au Canada</i>	107
5.2.1.2.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	108
5.2.1.2.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	109
5.2.1.2.4.	<i>Les extractibles connus des pins du Québec et leurs propriétés biologiques.</i>	112
5.2.1.2.5.	<i>Les huiles essentielles des pins</i>	116
5.2.1.2.6.	<i>Les recherches effectuées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	116
5.2.1.3.	<i>Le mélèze : genre Larix</i>	119
5.2.1.3.1.	<i>La diversité des espèces présentes au Canada</i>	119
5.2.1.3.2.	<i>Utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	120
5.2.1.3.3.	<i>Utilisations traditionnelles</i>	120
5.2.1.3.4.	<i>Les extractibles connus du mélèze laricin, mélèze du Québec et leurs propriétés biologiques</i>	121
5.2.1.4.	<i>Le sapin : genre Abies</i>	123
5.2.1.4.1.	<i>La diversité des espèces au Canada</i>	123
5.2.1.4.2.	<i>Les utilisations courantes par l'industrie forestière</i>	123
5.2.1.4.3.	<i>Les utilisations traditionnelles</i>	124
5.2.1.4.4.	<i>Les extractibles connus du sapin du Québec et leurs propriétés biologiques</i>	125
5.2.1.4.5.	<i>Les recherches effectuées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval</i>	130
5.2.2.	<i>Notes sur les extractibles de résineux secondaires du Québec</i>	131
5.2.2.1.	<i>La pruche : genre Tsuga</i>	131
5.2.2.2.	<i>Le thuya : genre Thuja</i>	133
5.2.3.	<i>Une distinction importante : huiles essentielles vs extractibles visés par ce mandat</i>	136
5.2.4.	<i>Bilan : potentiel de développement lié aux extractibles des résineux</i>	138

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Essences spécifiques aux différentes zones et sous-zones de végétation du Québec	19
Tableau 2 Liste des principales essences de feuillus et résineux des forêts québécoises.	20
Tableau 3 Aménagement de la forêt du Québec selon les régions administratives.	25
Tableau 4 Produits conjoints des scieries québécoises en 2007 (tma).....	30
Tableau 5 Composition chimique du bois selon le type d'essence et dans les écorces.	34
Tableau 6 Terminologie des biophénols.	47
Tableau 7 Liste des essences feuillues étudiées dans ce chapitre.	49
Tableau 8 Exemples d'utilisations traditionnelles de l'érable par les populations autochtones.	52
Tableau 9 Exemples d'utilisations traditionnelles de l'érable par les populations autochtones.	54
Tableau 10 Rendements à l'extraction (% en masse sur base de tissu anhydre).	57
Tableau 11 Teneurs en différentes classes de polyphénols dans les extraits à l'eau chaude. ..	57
Tableau 12 Teneurs en différentes classes de polyphénols dans les extraits à l'éthanol.	58
Tableau 13 Proportion de divers composés dans l'extrait d'écorce de trois espèces du genre <i>Betula</i> . Tableau extrait de la revue de littérature Krasutsky, 2006	63
Tableau 14 Teneurs en quelques polyphénols dans les feuilles du bouleau jaune.....	65
Tableau 15 Teneurs en polyphénols présents dans les tiges du bouleau jaune.	66
Tableau 16 Teneurs en polyphénols dans le bois et la sciure du bouleau jaune	67
Tableau 17 Tableau issu de l'article de Diouf et al. (2009) donnant la composition en dérivés terpéniques dans les divers tissus du bouleau jaune (<i>Betula alleghanensis</i>).....	68
Tableau 18 Tableau issu de l'article de Diouf et al. (2009) donnant la teneur en phénols totaux et en flavonoïdes dans les divers tissus du bouleau jaune (<i>Betula alleghanensis</i>).....	69
Tableau 19 Volumes en peupliers dans la région 08 (communication de Gaussiran et Boileau, 2007).....	73
Tableau 20 Nature de diverses classes d'extractibles lipophiles identifiés par GC-MS dans le bois de cœur du peuplier faux-tremble (extrait de l'article de Fernandez, 2001).	76
Tableau 21 Teneur en phénols totaux dans l'extrait aqueux d'écorce de peuplier faux-tremble et ses diverses fractions (Diouf et al. 2009)	79
Tableau 22 Listes des essences résineuses étudiées dans ce chapitre.	94
Tableau 23 Compilation des données de l'étude ethnopharmacologique réalisée par Arnason.	98
Tableau 24 Taux d'extractibles dans un extrait enrichi en stilbènes après extraction à l'acétone.	101
Tableau 25 Tableau des rendements en extractibles dans les écorces de l'épinette de Norvège, <i>Picea Abies</i>	102
Tableau 26 Tableau extrait de l'article de Chartier paru en 2009.	105
Tableau 27 Utilisations traditionnelles des diverses parties du pin blanc, <i>Pinus strobus</i>	112
Tableau 28 Tableau extrait de l'article de Beninger et al. 1997 détaillant la composition en flavonol glycoside dans l'extrait éthanolique des aiguilles de plusieurs essences de pin : Jack (pin gris), red (pin rouge), scotch (pin sylvestre), white (pin blanc)	114
Tableau 29 Taux d'extractibles obtenus par les deux méthodes d'extraction des écorces (Mac= macération, HW= Eau chaude) et teneurs en phénols totaux, flavonoïdes, acides cinnamiques et proanthocyanidines.	117
Tableau 30 Valeurs des concentrations d'extraits permettant d'inhiber 50% de l'oxydation provoquée par plusieurs espèces réactives libérées lors d'un stress oxydatif . Sont	

présentés les résultats pour plusieurs extraits aqueux et éthanoliques d'écorces d'essences canadiennes dont le Jack Pine (JP dans le tableau = pin gris).	117
Tableau 31 Tableau extrait de l'article de Bowman et al. (1997) donnant la composition en terpènes de l'extrait au dichlorométhane du feuillage de sapin baumier	127
Tableau 32 Tableau extrait de l'article de Pichette et al. (1998) donnant la composition de l'extrait à l'hexane du bois de cœur de sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>).....	128
Tableau 33 Tableau extrait de l'article de Garr et George (1920) donnant les taux d'extractibles dans les extraits aqueux et alcooliques des différentes parties de l'écorce (whole : entière, outer : externe, inner : interne).....	132
Tableau 34 Tableau extrait de l'article de Feucht et al. (2004) donnant la composition en flavonoïdes des extraits d'aiguilles.	132
Tableau 35 Tableau extrait de la revue de Naser et al. (2005) décrivant la composition des extraits de feuilles.....	135
Tableau 36 Tableau extrait de l'article de Pietarinen et al. (2006) décrivant la composition de la fraction hydrophile de l'extrait hexanique d'écorces de plusieurs essences dont le thuya occidental.....	136

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Superficie des principales zones de végétation distinctes du Québec.	15
Figure 2 : Zones et sous-zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec.....	16
Figure 3: Répartition forestière en fonction du type d'essences en 2007.	21
Figure 4 : Volumes feuillus/résineux représentant la possibilité forestière (forêts publiques et privées) par région administrative.	21
Figure 5 : Répartition des volumes de résineux (forêts publiques et privées) par région administrative et en fonction des groupes d'espèces.	22
Figure 6 : Répartition des volumes de feuillus (forêts publiques et privées) par région administrative et en fonction des groupes d'espèces.	23
Figure 7 : Zones sous CAAF.	24
Figure 8. Unités d'aménagement forestier et zones forestières du Québec.	25
Figure 9 : Estimation des volumes de biomasse forestière disponible en 2007 par région administrative et type d'essences. SEPM représente le groupe sapins, épinettes, pins gris et mélèzes.	26
Figure 10 : Estimation des volumes de biomasse forestière disponible en 2007 par région administrative et type d'essences. PET représente le peuplier faux-tremble.	27
Figure 11 : Des forêts aux marchés : Voies de conversion des forêts aux marchés.....	29
Figure 12: Bilan des écorces en 2007 en fonction de la région administrative.....	31
Figure 13 : Voies de conversion de la biomasse forestière.	33
Figure 14 : Produits chimiques et polymères issus des hémicelluloses	36
Figure 15 : Photo de l'érable à sucre, <i>Acer saccharum</i>	49
Figure 16 : Bouleau blanc (<i>Betula papyrifera</i> Marshall.)	58
Figure 17 : Photo d'un peuplier faux-tremble,	70
Figure 18 : Photo d'un chêne rouge (<i>Quercus rubra</i>).....	79
Figure 19 : Photo d'une épinette noire (<i>Picea mariana</i>). Source :Daniel Tigner. http://www.mnr.gov.on.ca/fr/Business/ClimateChange/2ColumnSubPage/268199.html	95
Figure 20 : Photo d'un pin gris (<i>Pinus banksiana</i>)	107
Figure 21 : Photo d'un mélèze laricin (<i>Larix laricina</i>),	119
Figure 22 : Photo d'un sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>).	123
Figure 23 : Graphique extrait de l'article de Holmbom et al. (2003) présentant la teneur en mg d'extractibles par gramme de bois obtenus par extraction des noeuds avec hexane....	129

GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

Antibactérien : qui inhibe ou stoppe la croissance des bactéries (généralement celles qui sont indésirables).

Antibiotique : en santé humaine, synonyme de ``antibactérien``. Exemple : pénicilline.

Antifongique : qui inhibe ou stoppe la croissance de champignons. Exemple : miconazole, huile de *Melaleuca* sp.

Antioxydant : qui bloque le processus d'oxydation, que ce soit au niveau cellulaire, sanguin ou tissulaire, ou encore en nutrition, dans des aliments contenant des huiles ou molécules insaturées. Exemple : acide ascorbique, gallate de propyle, extrait de romarin.

Antiviral : qui détruit ou stoppe la croissance de virus. Exemple : Tamiflu®, huile de *Melaleuca* sp.

Aqueux : à base d'eau (du latin *aqua*)

Atomisation: procédé par lequel on transforme un liquide en jet de fines gouttelettes. Le jet peut être contacté par un courant d'air chaud pour effectuer une déshydratation rapide et recueillir l'extrait sec. Par exemple, le séchage par atomisation (anglais ``spray-drying``) s'utilise pour produire des poudres de lait, de protéines, de pigments etc.

Bilan de masse : dans un procédé de transformation, calcul de la masse des intrants et celle des extrants.

Bilan énergétique : dans un procédé de transformation, calcul de la quantité d'énergie nécessaire à chaque étape par rapport à l'énergie récoltée (s'il y a lieu).

Biocarburant : carburant dérivé de la biomasse, par exemple éthanol de maïs ou cellulosique. Également, les esters méthyliques d'acides gras dérivés d'huiles végétales ou animales ou marines.

Biogaz : principalement, le méthane provenant de la décomposition anaérobie et contrôlée d'effluents agroalimentaires ou de sites d'enfouissement.

Briquettes : une forme sous laquelle les résidus forestiers sont comprimés et utilisés comme combustibles.

Cellulose : polymère de glucose qui constitue le glucide le plus abondant sur la planète. Commercialement exploité à partir de la biomasse du bois pour fabriquer papiers et cartons.

Clarification : procédé par lequel les particules en suspension dans un extrait liquide sont éliminées pour donner un liquide contenant uniquement des matières totalement solubles.

Concentration : procédé permettant de réduire la proportion d'eau ou de solvant dans un extrait liquide et conséquemment augmenter la teneur en matières dissoutes (aussi appelées « extrait sec »)

Contrecourant : méthode d'extraction ou de lavage qui consiste à faire circuler le solvant frais dans le sens opposé à celui de la matière solide à extraire. Les extracteurs à vis inclinée sont particulièrement efficaces pour cette technique.

Criblage : évaluation automatisée d'un grand nombre d'échantillon pour rechercher une propriété ou une substance d'intérêt. Permet de réduire considérablement les ressources à consacrer incluant le temps requis.

Dermo-cosmétique : formulation ou produit pour la peau dont l'efficacité découle de son application cutanée, par opposition aux « nutricosmétiques » qui sont des substances naturelles ingérées et ayant un impact sur la santé de la peau.

Éthanol : autre nom de l'alcool éthylique. Produit par fermentation anaérobie des mélasses, du glucose provenant de l'amidon de maïs ou de la cellulose, des jus de fruits...

Extractible : substance ou principe actif présent dans les tissus du bois que l'on peut facilement extraire avec des solvants tels que l'eau ou l'éthanol.

Flavonoïdes : classe de composés polyphénoliques présents dans le règne végétal et responsables entre autre des colorations et pigments et aussi des mécanismes de défense des végétaux envers les insectes, champignons, bactéries. Exemples de flavonoïdes : quercétine, rutine, catéchines

Fluide supercritique : se dit généralement de l'eau et du gaz carbonique (CO₂) quand ils sont hyperpressurisés et deviennent d'excellents solvants pour certaines substances, comme durant l'extraction de la caféine par le CO₂ supercritique.

Glucide : classe de substance chimique aussi connu sous le nom de « sucre » ou « carbohydrate ». Par exemple, glucose, sucrose, amidon, cellulose...

Granules : une forme sous laquelle les résidus forestiers peuvent être compressés et utilisés comme combustibles.

Hémicellulose : polymère constitué de molécules du glucide xylose (feuillus) ou du glucide mannose (résineux) et co-existant avec la cellulose et la lignine dans les tissus du bois.

Hémisynthèse : procédé de préparation de certaines molécules au cours duquel un des matériaux de base (ou un intermédiaire) ou encore une des étapes de transformation sont d'origine naturelle.

Hexane : solvant non-polaire, volatil et inflammable, extrêmement efficace pour dissoudre les huiles et graisses.

Hydrodistillation : méthode d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau des substances volatiles présentes par exemple dans les aiguilles des conifères, procédé permettant d'obtenir les huiles essentielles.

Hydrophile : se dit de substances ou liquides qui se dissolvent ou se mélangent facilement avec l'eau ou les solvants polaires. Par exemple, certains extractibles (polyphénols), les protéines, les glucides.

Innocuité : absence de toxicité ou d'effet indésirable. Important dans l'homologation de nouvelles substances ou formulations en nutrition et en santé humaine.

Lignine : polymère complexe et de composition phénolique qui possède une fonction « liante » entre les fibres cellulose et l'hémicellulose du bois.

Lipophile : se dit de substances ou liquides qui n'ont pas ou très peu d'affinités avec l'eau, qui se dissolvent facilement dans les solvants apolaires tels que l'hexane, l'éther de pétrole etc..

Lyophilisation : méthode de séchage où le liquide à sécher est congelé en couche mince puis soumis à un vide durant plusieurs heures. L'eau présente passe directement de l'état solide (glace) à l'état gazeux (vapeur d'eau). Pratique dans les cas où le séchage conventionnel avec chaleur pourrait détruire ou inactiver les substances dans la poudre finale. Anglais : « freeze-drying ».

Métabolite secondaire : molécule qui, par exclusion, n'appartient pas au métabolisme primaire qui lui, est indispensable à la nutrition, assure la croissance et le développement d'un organisme. Les métabolites primaires rassemblent les acides aminés, les lipides, les sucres ou les acides nucléiques, par exemple. Les métabolites secondaires sont plus spécifiques aux plantes, bactéries et champignons. On les retrouve dans des compartiments particuliers ou à des moments précis de la vie. Contrairement aux métabolites primaires, ils ne participent pas directement à l'assimilation des nutriments et donc, au développement de la plante.

Mycotoxines : molécules qui sont excrétées par certaines moisissures qui croissent sur les provendes dans les conditions particulières d'humidité et de chaleur. Ces molécules peuvent s'avérer hautement toxiques envers l'animal de ferme, à des concentrations de l'ordre du PPB (partie par milliard) selon l'espèce. Les mycotoxines résistent habituellement à la chaleur. La meilleure stratégie pour prévenir leur présence est de récolter les céréales ou fourrages avec soin et en faire l'entreposage en conditions relativement sèches et à l'abri de poussières excessives. Exemples : aflatoxines, vomitoxine.

Nanofiltration : méthode de séparation en phase liquide sur cartouches contenant soit des membranes organiques ou en céramique, avec des limites de séparation se situant généralement entre 0,001 et 0,01 micron.

Nutraceutique : terme qui combine « nutrition » et « pharmaceutique » et qui désigne un aliment ou un dérivé à effet bénéfique pour la santé ou dans la prévention et traitement d'une maladie. Par exemple, le lycopène de tomates, la B-carotène, certains Oméga-3, etc.

Oligopin® : marque de commerce de la société DRT Nutraceutics S.A. fe France, pour son extrait antioxydant de pin maritime (*Pinus pinaster*) à haute teneur en oligomères procyanidoliques OPC (polymères de polyphénols).

ORAC : méthode de mesure de la capacité antioxydante de diverses substances et extraits en tube à essai (*in vitro*), par opposition à la mesure de l'activité biologique chez l'humain ou l'animal (*in vivo*). ORAC fait référence à Oxygen Radical Absorbance Capacity.

Osmose inverse : méthode de séparation en phase liquide sur cartouches contenant soit des membranes organiques ou en céramique, avec limite de séparation avoisinant 0,001 micron. Permet entre autre de déioniser et purifier l'eau.

Percolation : méthode d'extraction où le solvant pur contacte le matériau sec à extraire dans un environnement généralement chaud. Par exemple, la préparation domestique du café par extraction à l'eau chaude.

Pilote : se dit d'essais ou d'installations qui sont identiques à un procédé à pleine échelle, mais de dimension réduites afin d'effectuer une optimisation préalable.

Polyphénol : classe de composés chimiques présents dans le règne végétal, Ils sont caractérisés, comme l'indique le nom, par la présence de plusieurs groupements phénoliques associés en structures plus ou moins complexes qui peuvent atteindre de haut poids moléculaire. Ces composés, produits du métabolisme secondaire des plantes sont connus pour leurs propriétés antioxydantes. Parmi les polyphénols, on dénombre plusieurs classes de composés (stilbènes, flavonoïdes, acides phénoliques...)

Proanthocyanidines (PAC) : sous-classe de la famille des flavan-3-ols, eux-mêmes faisant partie de la famille des polyphénols.

Pycnogénol ® : marque de commerce de la société française Horphag S.A. pour son extrait de pin maritime à haute teneur en OPC.

Rancidité oxydative : changement biochimique qui survient quand un lipide insaturé (p. ex. les acides gras présents dans les huiles Oméga-3 ou Oméga-6) réagit avec l'oxygène environnant. Il en résulte des dérivés à odeur ou saveur désagréables et de propriétés quelquefois toxiques. Ce type de changement peut être réduit ou évité par l'addition de faibles quantités d'antioxydants synthétiques ou naturels.

Radicaux libres : substances présentes en faible quantité dans le corps ou dans l'environnement, dont la haute réactivité chimique peut être la cause de maladies dégénératives et de cancers. Par exemple, le radical superoxyde.

Rémanents : en coupe forestière, fait allusion aux restes de branches ou de troncs laissés en forêt par les exploitants, que ce soit à cause de leur manque de valeur commerciale, ou dans certains cas pour des considérations écologiques.

Solvant : liquide ou gaz qui permet de dissoudre et extraire une ou des substances sèches ou cristallines. Exemple : eau, éthanol, térébenthine, CO₂ supercritique.

Stilbenoïdes : classe de composés polyphénoliques, aux diverses propriétés biologiques, souvent responsables de la protection naturelle de l'arbre ou de la plante contre l'attaque des microorganismes. Souvent appelés phytoalexines. Exemple : le resvératrol présent dans le vin.

Stress oxydatif : état de déséquilibre quand le corps ne peut éliminer la production de radicaux libres ou ne peut réparer les dommages que ceux-ci causent aux protéines, à l'ADN et aux lipides cellulaires. Un stress oxydatif non contrôlé peut engendrer des maladies telles que : athérosclérose, Parkinson's, Alzheimer, infarctus du myocarde, etc.

Tannins : Polymères de polyphénols présents dans les céréales, les écorces de bois de même que dans certains fruits. Réagissent avec les protéines, comme durant le procédé industriel de

tannage des cuirs. On distingue les tannins hydrolysables issus de la polymérisation de l'acide gallique et les tannins condensés issus de la polymérisation des catéchines.

Tensioactif : substance qui possède la propriété de réduire la tension à l'interface entre un liquide polaire et un liquide non polaire. Par exemple, un tensioactif de type émulsifiant permet de mélanger intimement de l'eau et de l'huile, mélange qui autrement conserverait une interface bien définie. Exemple : les savons.

Terpènes : classe d'hydrocarbures produits par nombre de plantes et particulièrement d'arbres résineux. Exemples : térébenthine, limonène (huiles d'agrumes).

Terpénoïdes : classe de composés organiques aussi appelés isoprénoïdes, et possédant la structure terpénique de base. Exemples provenant de diverses plantes et arbres : Taxol, carotène, lycopène (de la tomate), caoutchouc naturel.

Ultrafiltration : méthode de séparation en phase liquide sur cartouches contenant soit des membranes organiques ou en céramique, avec limite de séparation avoisinant 0,01 – 0,1 micron.

1. Introduction

1.1. Le contexte actuel de l'industrie forestière du Québec

A prime abord, le Québec est un symbole mondial tant par sa superficie que par la multitude, la variété et la richesse de ses ressources. Parmi celles-ci la forêt est l'une des plus importantes, un bien collectif qui occupe 90 % du territoire. Les différents secteurs de la production forestière ont chacun un rôle bien déterminé et primordial pour le développement économique et social de chacune des régions.

L'industrie forestière canadienne vit présentement une crise où l'on observe une baisse importante à la fois des mises en chantier (1.3% au Québec en 2008) et de la demande aux États-Unis et au Canada. Ceci occasionne conséquemment une chute des prix du bois d'œuvre et du papier journal. La production, l'emploi, les exportations et les bénéfices sont pratiquement tous en baisse. Au Québec, le nombre d'emplois dans la foresterie et les pâtes et papiers est passé de 370,000 en 2004 à 260,000 en 2007. Les principaux sous-secteurs sont : pâtes et papiers (48,5 % de la production du secteur), fabrication de produits en bois (36,4 %) et exploitation forestière (15,0 %). En 2008, la production a connu une très faible augmentation, grâce au sous-secteur des pâtes et papiers, qui a par ailleurs augmenté ses effectifs de 12 %. La majorité des emplois ont été préservés dans le sous-secteur de la fabrication des produits de bois. Cependant, dans le sous-secteur de l'exploitation forestière, 1300 mises à pied ont été effectuées, ce qui confirme l'irréversibilité de la tendance décroissante enregistrée depuis les cinq dernières années. D'après les données 2009 de la Fédération des Chambres de Commerce du Québec (FCCQ), les secteurs de la foresterie et des pâtes et papiers représentent 2.8% du PIB québécois et 2.2% de tous les emplois au Québec.

Dans ce contexte, le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec, dans son livre vert « *La forêt pour construire le Québec de demain* » publié en février 2008¹, propose d'adopter une stratégie de développement industriel axée sur des produits à forte valeur ajoutée, afin de (i) favoriser le maintien d'une industrie innovante, créatrice de richesse et

¹ Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (2008) Document synthèse du Livre vert « *La forêt pour construire le Québec de demain* », ISBN 978-2-550-52123-5, Québec.

d'emplois durables, et (ii) susciter, au sein de la population du Québec, une culture de l'utilisation du matériau bois.

Innover. Voilà pour l'industrie forestière la clé permettant de mettre au point un modèle de gestion différent et développer de nouvelles solutions à haute valeur ajoutée. Pour le Québec, les nouvelles technologies de valorisation de la biomasse forestière présentent un intérêt particulier. La filière dite « **extractibles** » se présente alors comme une voie devenue incontournable vers cette valorisation. Celle-ci passe par l'identification des composés bioactifs présents en grande quantité dans les résidus forestiers et notamment, dans les écorces. La mise en valeur de ces extractibles permettra aux acteurs de l'industrie forestière québécoise d'accéder à de nouveaux marchés. Il est reconnu que l'industrie forestière québécoise génère une quantité impressionnante de résidus et ceci à toutes les étapes de la transformation. Les écorces font partie des rémanents de l'industrie de première transformation. Une étude effectuée en 2008 par le QWEB a révélé que l'ensemble de la forêt commerciale québécoise génère - sur une base annuelle - approximativement 2,9 millions de tonnes de résidus forestiers². Ces résidus de la transformation du bois sont principalement brûlés pour satisfaire les besoins énergétiques de l'industrie du bois, mais une conclusion s'impose : l'extraction systématique des molécules bioactives avant la combustion des résidus constitue une étape essentielle qui ajoutera une valeur intrinsèque à la transformation du bois. Ces extraits bioactifs trouvent une kyrielle d'usages dans la formulation de produits pharmaceutiques, cosmétiques, agro-alimentaires et nutraceutiques.

En effet, la demande mondiale pour diverses molécules naturelles bioactives est en forte progression, en partie suite aux nouvelles tendances de consommation (changements culturels et sociaux) et la recherche d'alternatives quant aux sources d'énergie et de matières premières. Une visibilité accrue des tendances ``vertes`` dans les médias, et la hausse du nombre des circuits de distribution sont également des facteurs de croissance importants. Malgré les progrès remarquables de la médecine au cours du siècle dernier, une proportion sans cesse grandissante de gens voient leur qualité de vie - quand ce n'est leur espérance de vie - tragiquement amoindrie à cause de l'une ou l'autre de ces quatre maladies chroniques : le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires, le cancer et la maladie d'Alzheimer. Les changements dramatiques dans les habitudes alimentaires des pays industrialisés ont entre autres contribué à l'émergence de ces maladies. Conséquemment, le retour à une saine

² Fortin, F. (2008) Estimation de la disponibilité de la biomasse forestière 2007-2008. Conférence présenté au 2^{ième} symposium sur la valorisation de la biomasse forestière et des résidus de transformation de QWEB.

alimentation représente une voie privilégiée pour se prémunir dans une large mesure contre ces fléaux. Au plan des produits nutritionnels, les suppléments diététiques et vitaminiques de même que les produits de soins personnels font partie du marché des produits de santé naturels (PSN). Ce marché connaît une croissance remarquable dans les pays développés, et le Canada et le Québec suivent cette tendance. Nombre d'entreprises sont impliquées dans la fabrication de nutraceutiques, de produits dermo-cosmétiques, de produits homéopathiques, sans compter les produits bruts actifs destinés à la formulation de divers produits de santé naturels³. Les résultats d'enquêtes récentes indiquent que les consommateurs favorisent l'utilisation des produits de santé naturels comme façon de gérer de façon autonome leur propre santé. Par exemple, une partie de la population remplace, dans une certaine proportion, les médicaments conventionnels de synthèse par des médicaments dits « naturels ».

En raison des améliorations remarquables apportées aux méthodes de criblage des composés bioactifs au fil des ans, les chercheurs sont maintenant mieux outillés dans leur quête de nouvelles propriétés liées aux plantes forestières. Parallèlement, l'utilisation traditionnelle des plantes médicinales par les Premières Nations et les autres collectivités autochtones constitue une piste pour cibler les essences à potentiels biologiques.

La forêt boréale, vaste ceinture de conifères et de feuillus est le principal domaine de végétation au Québec. On y dénombre environ 850 espèces végétales différentes dont une vingtaine d'essences forestières. Cette biodiversité constitue un important réservoir potentiel de nouveaux agents thérapeutiques, cosmétiques et bioalimentaires. En effet, on sait qu'une espèce végétale peut renfermer au-delà d'une centaine de métabolites secondaires de nature et de structures différentes ce qui représente une panoplie indéniable de nouvelles molécules bioactives. Cependant, on estime que moins de 10% des espèces végétales ont fait l'objet d'études phytochimiques.

L'étape initiale en valorisation de résidus passe par l'extraction de ces métabolites secondaires. Il est donc nécessaire que les acteurs de l'industrie forestière québécoise portent un nouveau regard sur leurs sous-produits en considérant que les extractibles sont exploitables sans aucunement nuire à l'application usuelle des résidus (filiale énergétique ou autre) et représentent clairement une forte valeur ajoutée à leur transformation. Cette valeur devient applicable aux marchés cosmétiques, pharmaceutique, et nutraceutique pour l'humain et l'animal. Le taxol[®] est un exemple qui démontre l'importance des produits d'origine naturelle

³ Développement économique, Innovation et Exportation (2005) L'industrie des Produits de Santé Naturel, Profil Industriel, Développement générale de l'industrie et du commerce économique, ISBN 2-550-44402-7, Québec.

dans la pharmacopée actuelle⁴. Cet agent anticancéreux, initialement identifié dans l'écorce de l'if du Pacifique (*Taxus brevifolia*) se retrouve aussi dans la majorité des différentes espèces d'if dont celui du Canada (*Taxus canadensis*). Il est par conséquent impératif d'intensifier les travaux de recherche afin d'identifier les extraits ou les composés bioactifs qui ouvriront l'accès à ces nouveaux marchés, pour les intervenants du secteur forestier au Québec.

1.2. But du mandat

Le cadre du présent mandat vise à valider le potentiel de la filière « **extractibles** » pour les actuels ou futurs industriels concernés au Québec. A cet effet, la première étape consiste à effectuer une revue de littérature sur (i) la nature des extractibles déjà identifiés dans les essences forestières d'intérêt commercial présentes dans la province de Québec ainsi que (ii) sur leurs activités biologiques déjà mises en évidence par les divers auteurs. De même, les données ethnopharmacologiques disponibles à ce jour sont rassemblées afin de cibler les essences dont les extractibles auraient un intérêt biologique mais n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiques. Ceci permet d'avoir une vue d'ensemble afin d'évaluer les opportunités de recherche aujourd'hui pressantes pour améliorer les connaissances sur les bioactivités des extractibles de la forêt canadienne et québécoise. Ces opportunités serviront par le fait même à multiplier les facteurs de valorisation.

Dans la seconde partie de ce travail sont exposés les résultats de l'analyse des marchés potentiels dans plusieurs secteurs d'application en particulier les secteurs agro-alimentaire, pharmaceutique, nutraceutique et cosmétique. D'autres marchés potentiels sont également décrits (produits naturels de traitement du bois, teintures, insecticides, fongicides, tensioactifs) afin de proposer une vue globale des autres voies de valorisation des extraits forestiers. Dans cette analyse, nous intégrons une description pratique des principales voies de conversion requises pour chacun des secteurs ciblés. D'autre part, la législation concernant l'homologation d'un Produit de Santé Naturel (PSN) par Santé Canada est également rappelée ; ceci facilitera la prévision des étapes à parcourir par tout industriel souhaitant commercialiser un extrait bioactif en santé humaine, ce qui s'applique aux secteurs cosmétique, pharmaceutique et nutraceutique.

⁴ Blay P.K.S., Thibault P., Thiberge N., Kiecken B., Lebrun A. and Mercure C. (1993) Analysis of taxol and related taxanes from *taxus canadensis* using liquid chromatography combined with mass spectrometry or tandem mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 7(7): 626-634.

Ce mandat doit également permettre aux acteurs concernés d'évaluer rapidement le coût de mise en place d'une nouvelle technologie au sein même de l'industrie déjà implantée au Québec. Dans cette partie sont discutés a) les rendements en extractibles dans les divers tissus résiduels du bois, b) l'évaluation des coûts de procédés d'extraction et les investissements nécessaires (échelle pilote puis industrielle) c) le potentiel d'emplois créés aux différents paliers : R & D, production, assurance-qualité, marketing et administration.

Pour conclure, le bilan de cette étude contribue à définir ce qui est disponible comme information sur l'un ou l'autre de ces volets et conséquemment identifier (i) les éléments manquants, et (ii) les éléments existants mais dont le niveau de précision est insuffisant, que ce soit pour réaliser des études de préfaisabilité technique et financière adéquates ou pour satisfaire les besoins des industriels intéressés d'investir à faible risque dans cette filière.

2. Principales espèces sylvicoles au Québec et répartition géographique

Avant de pouvoir définir la préfaisabilité du développement d'une filière « extractibles » au sein même de l'industrie forestière québécoise, il est nécessaire de comprendre l'organisation de la forêt de ce territoire. En effet, il est reconnu que la nature et la quantité des extractibles varient en fonction de l'essence. Ainsi, pour mieux visualiser les applications éventuelles de ces extractibles au sein des diverses régions administratives du Québec, une étude des différentes zones de végétation du Québec et de la distribution géographique des peuplements forestiers est effectuée essentiellement à partir des données:

- du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec
- de Ressources Naturelles du Canada.
- de divers rapports d'études (de sources universitaires ou autres) sur l'aménagement forestier du Québec.

2.1. Zones de végétation du Québec

Sur une superficie totale de 1,7 million km², les forêts québécoises couvrent environ 761 100 km², soit près de la moitié du territoire. Les Québécois sont collectivement propriétaires d'environ 92 % du territoire du Québec, dont plus de la moitié est couvert de forêt à valeur commerciale⁵. Dans cette province, nous retrouvons trois zones de végétation créées par les variations bioclimatiques (Fig. 1).

⁵ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca>

ZONES DE VÉGÉTATION

	Forêt boréale	551 400 km ²
	Forêt mélangée	98 600 km ²
	Forêt feuillue	111 100 km ²



Figure 1 : Superficie des principales zones de végétation distinctes du Québec⁶.

⁶ Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (2009) Chiffres clés du Québec forestier 2009.

Notons que l'équilibre entre la végétation et le climat est le principal critère de distinction des zones.

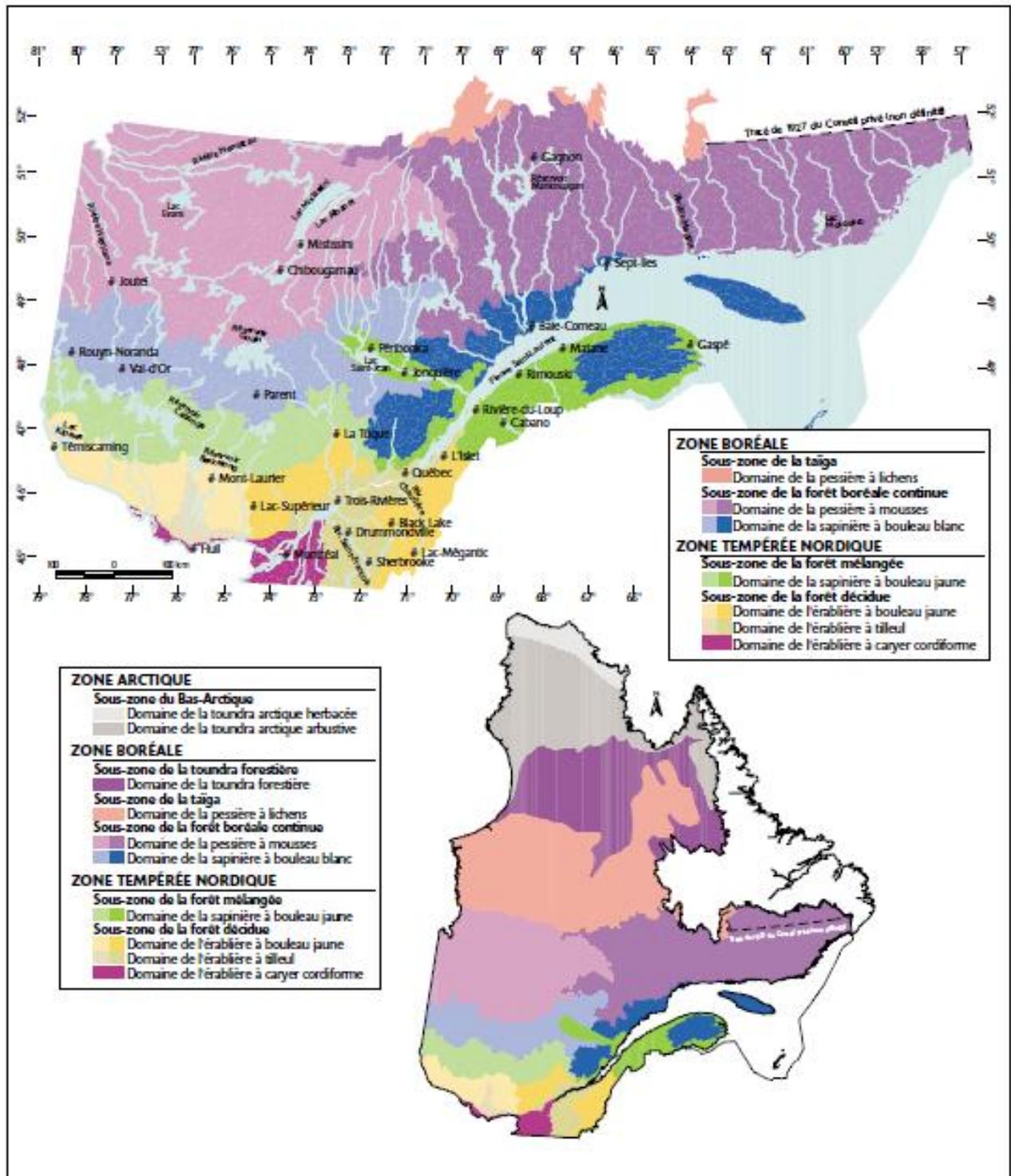


Figure 2 : Zones et sous-zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec.

La forêt boréale couvre près de 70 % du territoire forestier au Québec, soit environ 560 000 km² (Fig. 1). Dans cette zone de végétation, on retrouve une majorité de conifères ou essences résineuses. Les quatre principales essences sont : l'épinette noire qui représente à elle seule 8/10 de la forêt boréale, le sapin baumier, le mélèze laricin et le pin gris. Puisque cette forêt

s'étend du 48e au 52e parallèle approximativement, il n'est pas étonnant d'observer des différences dans sa composition., Le sapin baumier domine dans le sud de la zone boréale et il est accompagné d'épinettes blanches et de bouleaux blancs. Cette dernière sous-zone est communément appelée « la sapinière à bouleau blanc ». Par endroit (essentiellement dans le sud-ouest), la présence de feuillus tel que bouleau gris, peuplier baumier et peuplier faux-tremble crée une mosaïque de peuplements mixtes. Au nord prédomine la forêt d'épinette noire (*Picea mariana*), une essence indigène à l'Amérique du Nord⁷. C'est d'ailleurs au Québec que l'on retrouve les plus grandes forêts d'épinettes noires au monde. Cet type de forêt que l'on nomme « pessière », forme des peuplements denses et presque purs jusqu'au 52° parallèle. Au-delà de cette limite, les peuplements s'ouvrent (deviennent moins denses) et laissent place à la taïga. La zone végétative que l'on nomme « taïga » est principalement composée d'épinettes noires et de lichens. On l'observe dans le Nord du Québec, soit du 52° au 55° parallèle et elle occupe environ 299 000 km². Dû au climat plus rigoureux de cette région, la densité des arbres y est plus faible, et ceux-ci sont souvent plus petits que dans les autres zones végétatives. Cette région est en pratique inexploitable pour l'industrie forestière, dû au facteur éloignement et aux coûts engendrés. A l'extrême Nord, on retrouve la toundra. Très peu de végétation persiste dans cette zone à cause du froid. On y voit quelques épinettes noires, très petites et dispersées. Nous ne faisons qu'un bref survol de cette zone, car tout comme pour la taïga, on ne saurait y justifier les coûts d'exploitation.

La zone des forêts feuillues et mélangées se retrouve dans la partie sud du Québec seulement dans la zone tempérée nordique. La forêt mélangée couvre, dans son ensemble, environ 11,5% du territoire québécois⁸. On qualifie la forêt mélangée de zone de transition entre la forêt boréale et la forêt de feuillus. Elle se compose d'une riche variété d'arbres feuillus et de résineux de grande valeur. On y différencie trois domaines forestiers où l'érable à sucre règne en maître, du sud au nord⁹: l'érablière à caryer cordiforme, l'érablière à tilleul et enfin l'érablière à bouleau jaune. L'érablière à caryer cordiforme est peuplée d'espèces de grande valeur dont l'hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*), le noyer cendré (*Juglans cinerea*), l'orme, des caryers apparentés au pacanier (*Carya cordiformis* et *Carya ovata*), le chêne, le

⁷ Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise (2004) Rapport Coulombe, ISBN 2-550-43626-1

⁸ Gauthier, G. et Saucier, J.P. (1999) L'aménagement forestier du Québec. Revue forestière Française LI, Numéro spécial.

⁹ Gagnon, D. (2004) La forêt naturelle du Québec, un survol. Rapport présenté pour la Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. Université du Québec, Montréal

tilleul, le frêne (plusieurs espèces) et l'ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana*)^{10,11}. On y voit quelques conifères tel la pruche, et parfois quelques pins blancs. Le domaine de l'érablière à caryer croît sur les sols les plus riches du territoire. Ce type de peuplement forestier ne s'observe qu'à quelques endroits isolés au sud du Québec. Le domaine de l'érablière à tilleul est typiquement composé d'une forêt feuillue où l'érable à sucre dominant est accompagné d'autres feuillus tels que le tilleul, le hêtre, l'ostryer et le frêne blanc (*Fraxinus americana*). Dans les sites humides, l'orme (surtout l'orme d'Amérique), le noyer, le frêne noir (*Fraxinus nigra*), le sapin baumier et le thuya occidental appelé aussi « cèdre blanc » s'installent, tandis que le bouleau jaune et la pruche du Canada préfèrent les zones froides et situées en haut des pentes¹². Enfin, le chêne rouge et les pins profitent dans les sols plus secs et plus acides. Le domaine de l'érablière à bouleau jaune couvre la moitié nord du territoire et est caractérisé par l'abondance de l'érable à sucre : ici, le bouleau jaune, le bouleau blanc ou bouleau à papier et le mélèze laricin s'y retrouvent en quantité variable selon la qualité des sols. L'exploitation de ce domaine forestier représente une source importante d'emplois. Aujourd'hui, le potentiel économique des feuillus est reconnu et la région profite du développement constant des produits issus de l'exploitation de sa ressource forestière variée.

¹⁰ Rousseau J. (1962) La forêt mixte du Québec dans la perspective historique. Cahiers de géographie du Québec, vol. 7, n° 13, p. 111-120.

¹¹ Ressources naturelles du Canada, <http://foretsCanada.rncan.gc.ca>.

¹² Prévost M., Roy V. et Raymond P. (2003) Sylviculture et régénération des forêts mixtes du Québec (Canada) : une approche qui respecte la dynamique naturelle des peuplements. Note recherche n° 125, Direction de la recherche forestière, Québec.

Tableau 1 Essences spécifiques aux différentes zones et sous-zones de végétation du Québec

Zone	Sous-zone	Essences d'arbre spécifiques
Tempérée nordique	Forêt décidue	<ul style="list-style-type: none"> • Érable à sucre • Bouleau jaune • Tilleul • Caryer cordiforme
	Forêt mélangée	<ul style="list-style-type: none"> • Bouleau jaune • Sapin baumier • Épinette blanche
Boréale	Forêt boréale	<ul style="list-style-type: none"> • Épinette noire • Peuplier faux-tremble • Bouleau blanc • Épinette blanche • Pin gris • Sapin baumier
	Taiga	<ul style="list-style-type: none"> • Épinette noire • Pin gris • Sapin baumier
	Toundra forestière	<ul style="list-style-type: none"> • Épinette noire
Arctique	Bas-arctique	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun arbre

2.2. Répartition géographique – feuillus vs résineux

Dans la présente analyse, nous nous sommes essentiellement basés sur les données contenues dans le portrait statistique de l'industrie forestière publié par le MRNF en janvier 2009¹³ qui fournit une vision complète de l'état économique de l'industrie forestière québécoise depuis 2007. Ce portrait fournit un bilan d'inventaire permettant d'obtenir les possibilités forestières en volume en fonction du type d'essence et des régions administratives. Le MRNF s'est par ailleurs inspiré des données du *troisième inventaire forestier décennal*. Le tableau 2 présente la liste des principales essences feuillues et résineuses commerciales.

¹³ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

Tableau 2 Liste des principales essences de feuillus et résineux des forêts québécoises.

Résineux	Feuillus
Épinette blanche (<i>Picea glauca</i>)	Érable à sucre (<i>Acer saccharum</i>)
Épinette de Norvège (<i>Picea abies</i>)	Érable rouge (<i>Acer rubrum</i>)
Épinette noire (<i>Picea mariana</i>)	Bouleau blanc (<i>Betula papyrifera</i>)
Épinette rouge (<i>Picea rubens</i>)	Bouleau jaune (<i>Betula alleghaniensis</i>)
Pin blanc (<i>Pinus strobus</i>)	Chêne à gros fruits (<i>Quercus macrocarpa</i>)
Pin rouge (<i>Pinus resinosa</i>)	Chêne rouge (<i>Quercus rubra</i>)
Pin gris (<i>Pinus banksiana</i>)	Frêne d'Amérique (<i>Fraxinus americana</i>)
Mélèze laricin (<i>Larix laricina</i>)	Frêne de Pennsylvanie (<i>Fraxinus pennsylvanica</i>)
Mélèze d'Europe (<i>Larix decidua</i>)	Orme d'Amérique (<i>Ulmus americana</i>)
Mélèze du Japon (<i>Larix kaempferi</i>)	Caryer corniforme (<i>Carya cordiformis</i>)
Sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>)	Tilleul d'Amérique (<i>Tillia glabra</i>)
Pruche du Canada (<i>Tsuga canadensis</i>)	Noyer noir (<i>Juglans nigra</i>)
Thuya occidental (<i>Thuya occidentalis</i>)	Peuplier hybride
	Peuplier faux-tremble (<i>Populus tremuloides</i>)
	Peuplier baumier (<i>Populus balsamifera</i>)
	Peuplier deltoïde (<i>Populus deltoides</i>)

Parmi les essences citées, les plus abondantes sont : le sapin baumier, les épinettes, le pin gris et les mélèzes chez les résineux (65,6% des forêts publiques). Parmi les feuillus, les peupliers, dont le faux-tremble est l'espèce la plus répandue, sont présents partout au Canada et dans la forêt québécoise. Le bilan du troisième inventaire décennal montre que les résineux représentent le type d'essence le plus disponible dans les forêts publiques alors que les feuillus sont exploités plutôt dans les forêts privées du Québec (Fig. 3).

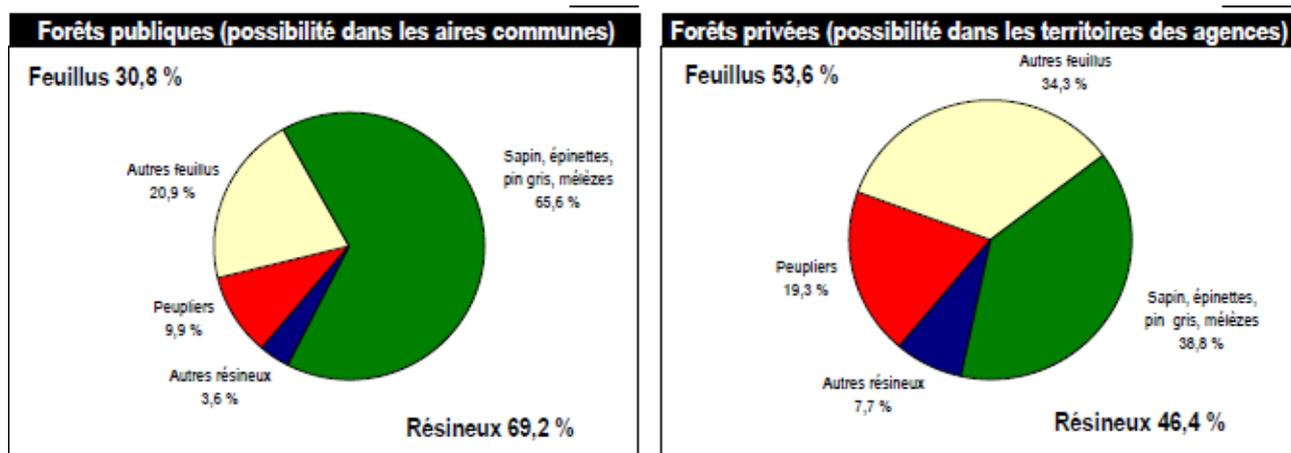


Figure 3: Répartition forestière en fonction du type d'essences en 2007¹⁴.

Une analyse des données du 31 mars 2007 de l'aménagement forestier publiées par le MRNF nous a permis d'établir la possibilité forestière totale (forêts publiques et privées) en fonction de la région administrative (Fig. 4).

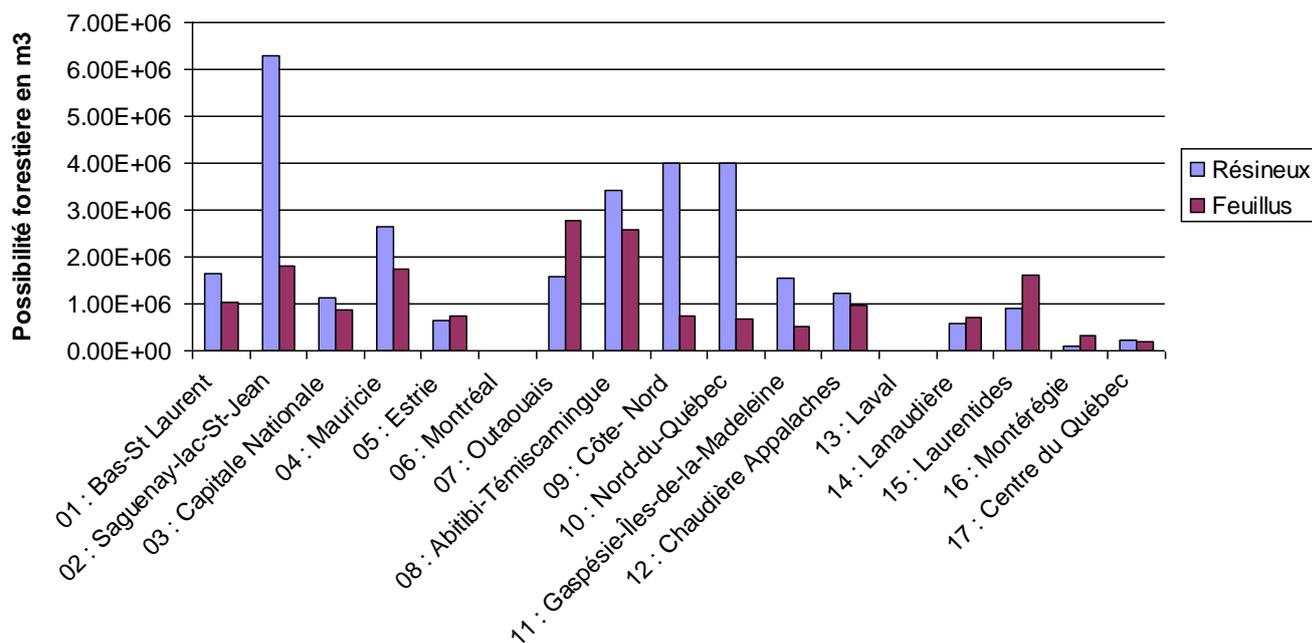


Figure 4 : Volumes feuillus/résineux représentant la possibilité forestière (forêts publiques et privées) par région administrative¹⁵.

Il est apparent que les régions 02, 08, 09 et 10 disposent de volumes importants de résineux. Les essences feuillues sont les plus abondantes dans les régions 07 et 15. La région 08

¹⁴ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

¹⁵ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

d’Abitibi-Témiscamingue est une forêt mixte avec des volumes potentiels dans les deux types d’essences. Cet exercice d’analyse de la répartition géographique des essences nous permet d’établir plus précisément le potentiel « extractibles » de chaque région administrative en fonction des essences prédominantes. Les figures 5 et 6 regroupent les informations concernant la répartition des volumes disponibles par région administrative en fonction des groupes d’essence les plus représentés au Québec, respectivement chez les résineux et les feuillus.

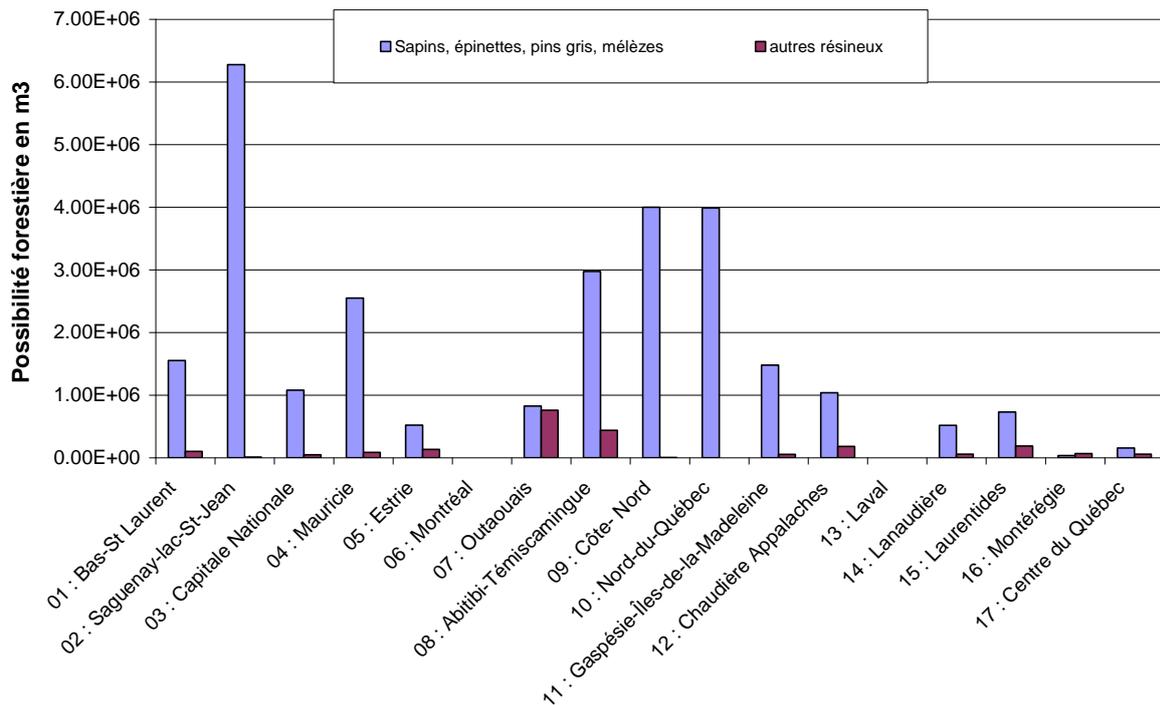


Figure 5 : Répartition des volumes de résineux (forêts publiques et privées) par région administrative et en fonction des groupes d’espèces¹⁶.

¹⁶ Parent B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

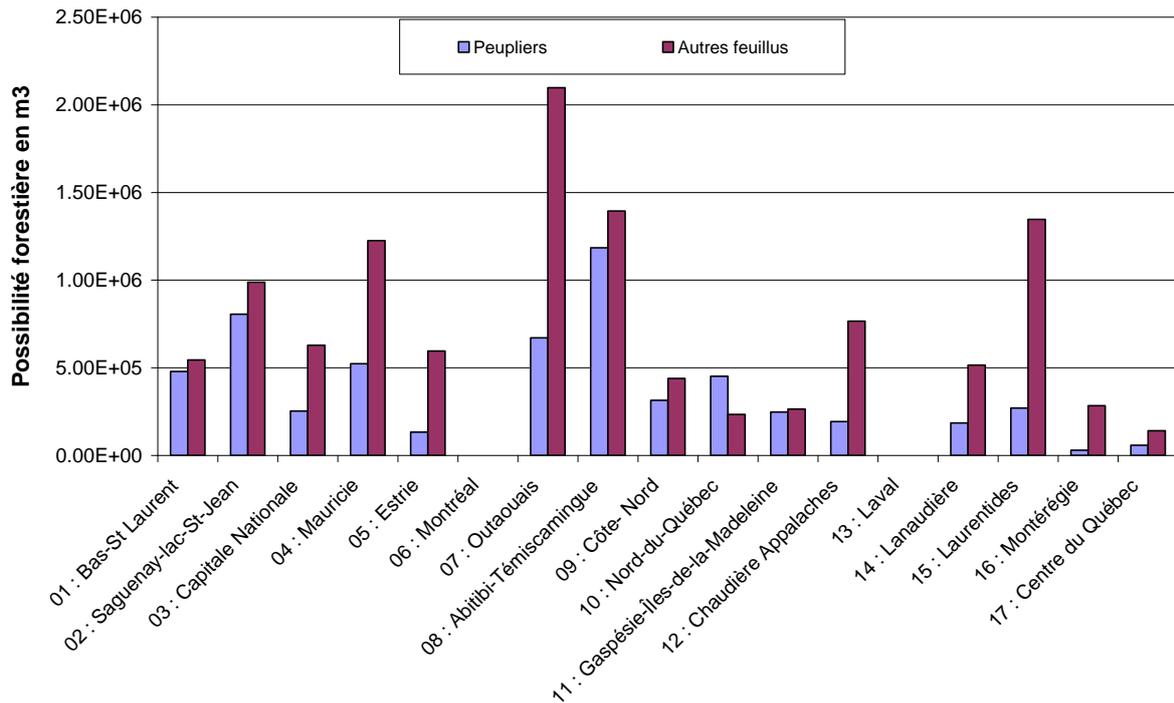


Figure 6 : Répartition des volumes de feuillus (forêts publiques et privées) par région administrative et en fonction des groupes d'espèces¹⁷.

2.3. Gestion de la forêt du Québec : Répartition du territoire forestier

Pour envisager le développement de la filière « extractibles », il est nécessaire que les acteurs régionaux prennent en considération les unités d'aménagement forestier (UAF) mises en place depuis 2008 par le gouvernement du Québec. Il importe aussi de clairement présenter aux entreprises et usines détentrices des contrats et permis, les voies de conversion appropriées à une mise en marché des extraits forestiers propre à la ressource disponible dans ces unités mêmes.

Le régime forestier du Québec préconise un mode de gestion conforme au principe du développement durable, et respectueux de la polyvalence du milieu forestier. Le gouvernement du Québec élargit l'accès aux ressources du domaine de l'État à d'autres que les seuls titulaires de permis d'exploitation d'une usine de transformation du bois. Les contrats, conventions et permis (CAAF, CtAF, CvAF)¹⁸ accordés par le ministère s'avèrent de précieux outils de gestion forestière. En agissant ainsi, le gouvernement favorise l'utilisation maximale des bois et la diversification de l'aménagement forestier.

¹⁷ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

¹⁸ <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/quebec/quebec-regime-gestion-outils.jsp>



Figure 7 : Zones sous CAAF.

La forêt du Québec est divisée en zones forestières¹⁹ englobant plusieurs régions administratives (Tab.3). À la suite de démarches liées à la révision du régime forestier, le territoire du Québec comporte désormais 74 unités d'aménagement forestier et une limite nordique des attributions commerciales de bois (Fig. 7)²⁰. Pour chacune de ces unités, le ministre détermine les possibilités annuelles de coupe à rendement soutenu qui guident l'attribution des bois. De plus, il fixe les objectifs de protection et de mise en valeur qu'il faut y poursuivre. La délimitation des unités d'aménagement forestier²¹ permet d'assurer la gestion du potentiel forestier selon la région et la zone forestière ciblée.

¹⁹ Portions d'un territoire forestier public qui fait l'objet d'un calcul de possibilité forestière et en aires communes

²⁰ Délimitation des unités d'aménagement forestier et de la limite Nord des attributions commerciales, MRNF.

²¹ Portions d'un territoire forestier public sur laquelle un ou plusieurs bénéficiaires de contrats d'aménagement forestier (CAAF) sont autorisés à réaliser une activité d'aménagement et à y récolter un certain volume de bois.

Tableau 3 Aménagement de la forêt du Québec selon les régions administratives.

Zones forestières ou régions MRNF	Régions administratives
01 : Bas-St Laurent	01 : Bas-St Laurent
02 : Saguenay-lac-St-Jean	02 : Saguenay-lac-St-Jean
03 : Capitale-Nationale-Chaudière - 04 : Appalaches- Estrie	03 : Capitale Nationale
	05 : Estrie
	12 : Chaudière Appalaches
05 : Mauricie-Centre du Québec	04 : Mauricie
	17 : Centre du Québec
06 : Laval-Lanaudière-Laurentides	06 : Montréal
	13 : Laval
	14 : Lanaudière
	15 : Laurentides
	16 : Montérégie
07 : Outaouais	07 : Outaouais
08 : Abitibi-Témiscamingue	08 : Abitibi-Témiscamingue
09 : Côte- Nord	09 : Côte- Nord
10 : Nord-du-Québec	10 : Nord-du-Québec
11 : Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	11 : Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine

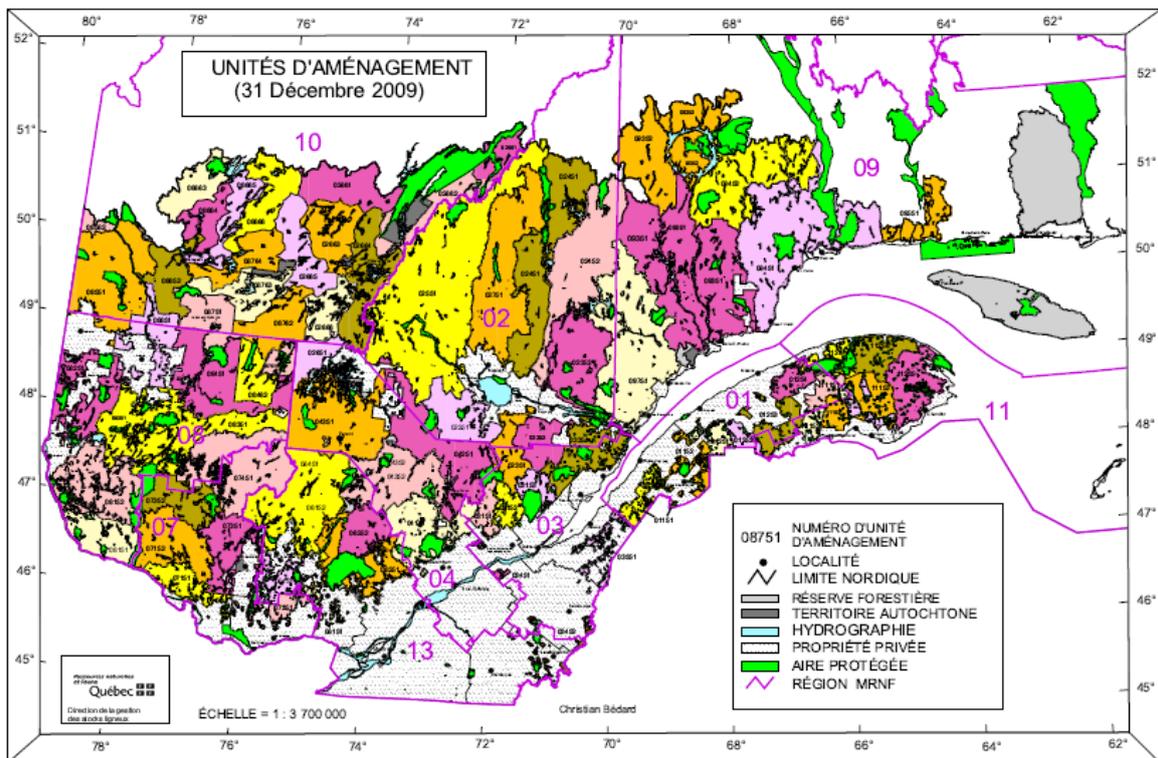


Figure 8. Unités d'aménagement forestier et zones forestières du Québec.

2.4. Proportions des sous-produits forestiers selon les régions ²²

La production annuelle de biomasse forestière en forêt publique et privée serait de l'ordre de 6 millions de tonnes métriques anhydres (tma)²³. Dans les exploitations forestières, les résidus prennent la forme de souches, houppiers, branchages, cimes, tiges. Dans l'industrie de première transformation, ce sont les écorces, sciures, copeaux, rabotures. Dans l'industrie de seconde transformation, les rémanents comprennent les copeaux, rabotures, chutes, sciures, morceaux de panneaux, poussières de sablage. Les figures 9 et 10 permettent de visualiser la distribution des volumes estimés de biomasse forestière en fonction de la région administrative.

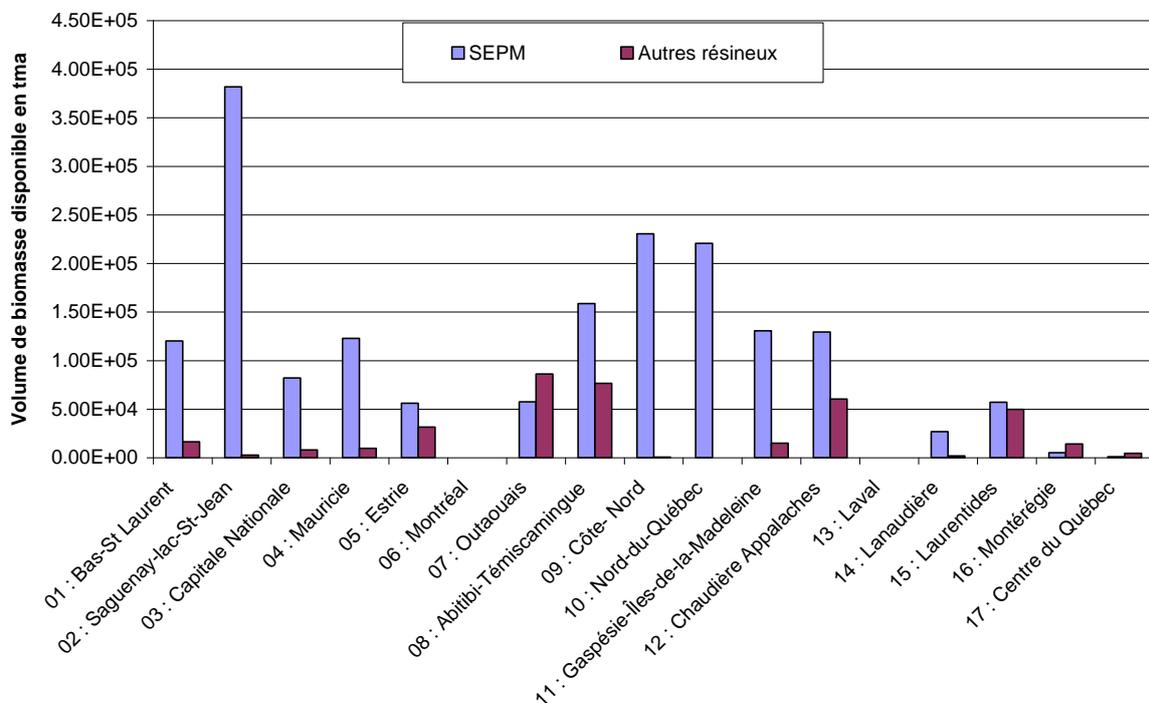


Figure 9 : Estimation des volumes de biomasse forestière disponible en 2007 par région administrative et type d'essences. SEPM représente le groupe sapins, épinettes, pins gris et mélèzes.

²² Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

²³ Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (2009) Estimés de la disponibilité de la biomasse forestière par région administrative du Québec en 2007-2008, forêts publiques et privées.

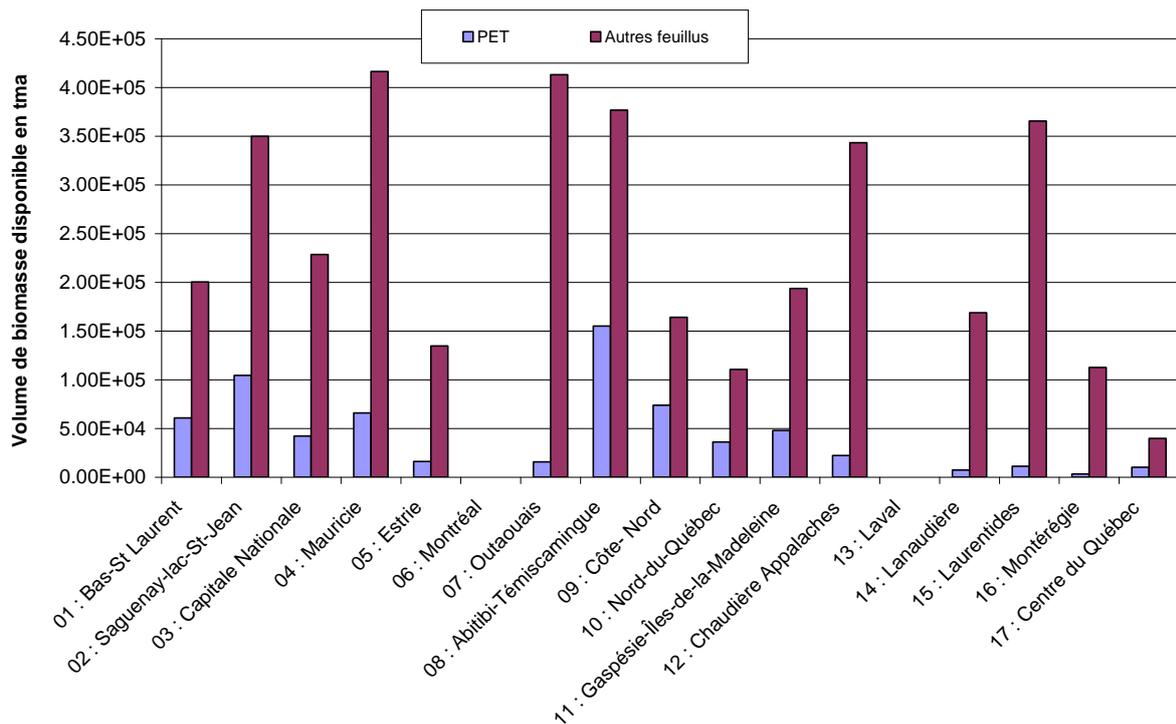


Figure 10 : Estimation des volumes de biomasse forestière disponible en 2007 par région administrative et type d'essences. PET représente le peuplier faux-tremble.

La biomasse en général comprend tous les types de matière organique, dont les déchets industriels, urbains et agricoles, les résidus forestiers, les déchets de bois et de cultures énergétiques comme la canne à sucre ou le maïs. Celle utilisée pour la combustion au Québec vient majoritairement de la forêt et des industries de la transformation du bois et des pâtes/papiers. En effet, l'utilisation de la biomasse forestière présente plusieurs avantages non négligeables : une infrastructure facile à mettre en place entre les scieries et les unités de cogénération, des quantités et qualités prévisibles, un matériau prêt à brûler sans aucune autre transformation, une source d'énergie efficace et une énergie négligeable dépensée à la récolte.²⁴ Le principal avantage de l'utilisation de la biomasse forestière vient du fait que le bois possède un cycle neutre de carbone. En effet, la combustion du bois émet un volume de carbone ou de gaz à effet de serre semblable à la décomposition naturelle d'un même volume de bois qui est mort en forêt²⁵. Dans un contexte où on prévoit une augmentation sensible du coût des combustibles fossiles et de l'électricité, la biomasse forestière résiduelle apparaît comme une solution qui permet de réduire les coûts liés à l'énergie, année après année. En substituant les combustibles fossiles par la biomasse forestière résiduelle, il pourrait être

²⁴ Desrochers Luc (2009) 10 éléments pour assurer le succès d'une opération de récupération de la biomasse forestière. FP INNOVATIONS, FERIC, créer des solutions pour le secteur forestier.

²⁵ Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (2009) Vers la valorisation de la biomasse forestière, Plan d'action. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Québec.

possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui constitue un appui direct à l'atteinte des objectifs canadiens en rapport avec le protocole de Kyoto. Les résidus agricoles quant à eux sont moins utilisés car ils demeurent peu disponibles et présentent une teneur importante en silice/métaux alcalins^{26,27}.

La biocombustion consiste à simplement brûler la biomasse solide pour produire de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. Deux méthodes sont courantes au sein de l'industrie de première transformation:

- la combustion directe : génère de la chaleur (chauffage de bâtiment, production d'eau chaude, chaleur pour procédés industriels).
- la cogénération : produit chaleur + électricité ; représente 9-10% de la production énergétique québécoise.

²⁶ Fortin, F. (2008) Estimation de la disponibilité de la biomasse forestière 2007-2008. MRNF, Développement de l'industrie des produits forestiers.

²⁷ Douville G., Vallée V., Proulx A., Bouchard M., Brulotte F., Baribeault J., Giguère M. et Plasse J.-G. (2006) Inventaires des méthodes et équipements de récupération ainsi que des systèmes de combustion les plus courants. Profil des produits forestiers, Première transformation, Biomasse forestière résiduelle, CRIQ, Québec.

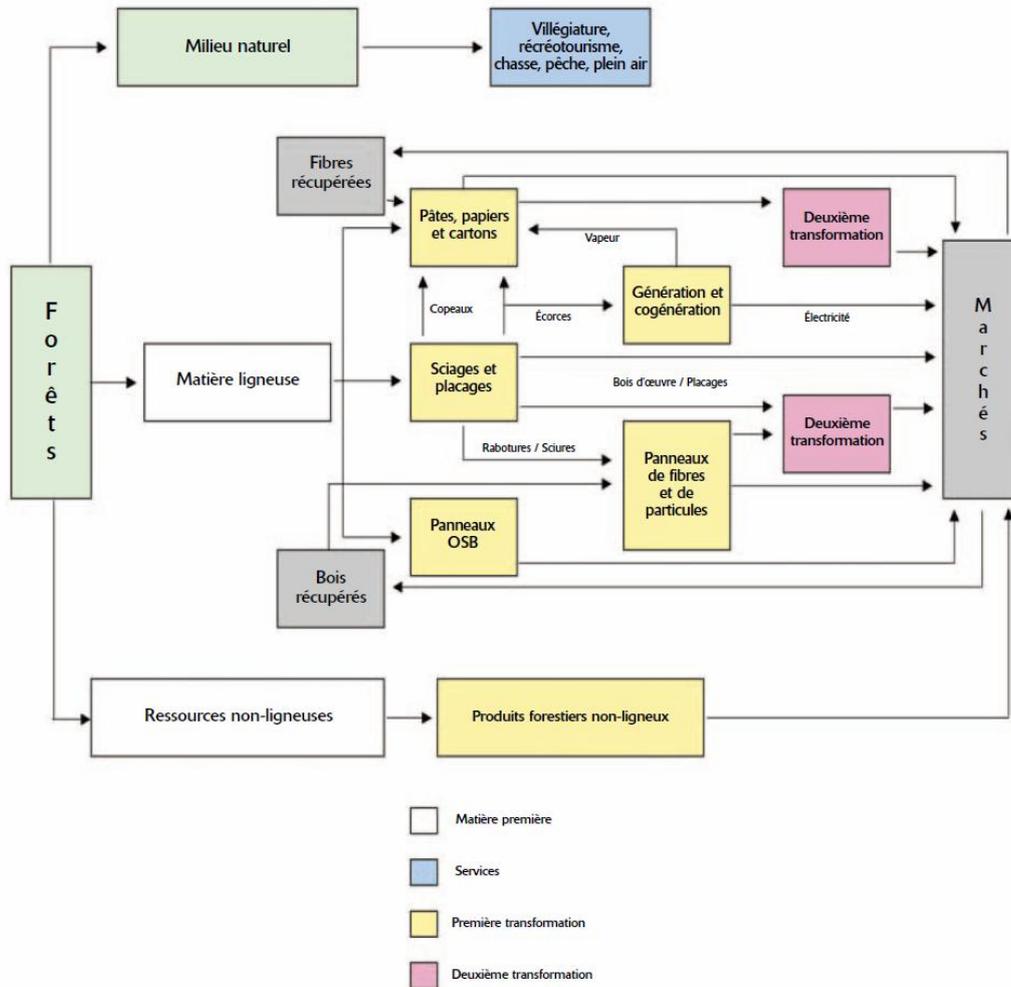


Figure 11 : Des forêts aux marchés : Voies de conversion des forêts aux marchés.²⁸

La figure 11 présente un schéma général des voies de conversion de la forêt menant à l'accès aux marchés. Le taux d'utilisation des résidus de l'industrie de première transformation du bois (écorce, sciure et raboture) est pratiquement de 100 % actuellement²⁹. La fermeture de nombreuses scieries provoque même des pénuries dans certaines régions (Fig. 12) et les volumes disponibles ont fortement diminué depuis 2004 (Tab.4). Ces sous-produits sont convoités : leur utilisation grandissante par l'industrie du panneau, les producteurs de bûches ou de granules de bois (actuellement un marché d'exportation en croissance), les producteurs de litières animales, les chaufferies (séchoirs ou autres) et par l'industrie de la cogénération, leur ajoute indéniablement de la valeur. La biomasse forestière est le sujet de nombreuses recherches explorant la gazéification et la méthanisation, ce qui a permis le développement de

²⁸ Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise (2004) Rapport Coulombe, ISBN 2-550-43626-1

²⁹ Gagné, E. (2007) La récolte de la biomasse forestière-Excellente occasion de développement. Fédération Québécoise des coopératives forestières.

technologies éprouvées pour la génération de biogaz et de biocarburant à partir de cette dernière. L'impact bénéfique de ces initiatives sur l'environnement est indéniable. Des projets dans ce sens commencent à voir le jour au Québec, de même qu'au Canada et en Europe³⁰.

Tableau 4 Produits conjoints des scieries québécoises en 2007 (tma)³¹

	2004	2005	2006	2007	2008
Copeaux	7449	7237	6502	5559	5282
Sciures et rabotures	2119	2077	1856	1578	1309
Écorces	2901	2750	2465	2125	1772
Total	<i>12469</i>	<i>12064</i>	<i>10823</i>	<i>9263</i>	<i>8363</i>

Actuellement, il existe peu de voies de valorisation réelle des écorces autres que la production d'énergie (Fig. 11). Pourtant, nous avons noté précédemment que ces résidus peuvent s'avérer des sources très intéressantes de dérivés à haute valeur ajoutée. En effet, les écorces contiennent généralement une quantité appréciable d'extractibles (à rendements d'extraction élevés) dont certains possèdent plusieurs propriétés biologiques et thérapeutiques³². Ces écorces sont riches - entre autres composés - en polyphénols³³ qui représentent des extractibles dont les effets bénéfiques comme antioxydants, anticancéreux, antibiotiques, antibactériens, antifongiques, antispasmodiques, sédatifs, analgésiques, antitumoraux ou anti-inflammatoires sont reconnus. Cependant, à l'heure actuelle très peu d'études exhaustives ont été effectuées sur la composition chimique des écorces et résidus des essences forestières du Québec ; l'évaluation de leurs activités biologiques souffre également d'une paucité d'études. Malgré cet état de fait, l'avancée des recherches mondiales sur le potentiel biologique de certaines classes de composés naturels souligne clairement un intérêt pour ces molécules bioactives en fabrication de produits fins destinés aux marchés de la nutrition (humaine et animale), de la pharmacutique et de la cosmétique, tous des marchés actuellement demandeurs.

Au sein même de l'industrie de la première transformation du bois, l'étude de préfaisabilité du développement de cette nouvelle filière à fort potentiel passe par un examen rigoureux de la

³⁰ Conseil de l'Industrie forestière du Québec (2008) Mémoire sur la gestion des matières résiduelles présenté dans le cadre des consultations publiques de la commission des transports et de l'environnement de l'Assemblée Nationale, Québec.

³¹ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

³² Pichette A., Legault J., Lavoie S., Dufour D., Côté P.-A., Caron J., Naasz R., Cormier D., Chouinard G., Leblanc M., Lord D., Tremblay J. et Valade G. (2008) Valorisation des produits naturels présents dans les résidus d'écorces d'essences ligneuses du Québec par le développement d'utilisations dans le domaine des adhésifs et de l'agriculture, FQRNT, Québec.

³³ Cloutier A., Blanchet P., Koubaa A. et Stevanovic T. (2008) Valorisation de l'écorce d'épinette noire et de peuplier faux-tremble, Projet financé dans le cadre de l'Action concertée Fonds Nature et Technologies – FRF-02. Programme de recherche sur la forêt boréale et son écologie au Saguenay.

possibilité suivante : créer une nouvelle voie de conversion des écorces en modifiant légèrement la logistique interne de cette industrie (Fig. 11). Précisément, avant d'atteindre les centrales de cogénération, les écorces seront soumises à une étape d'extraction simple et rapide afin de récupérer les molécules d'intérêt destinées à de nouveaux marchés.

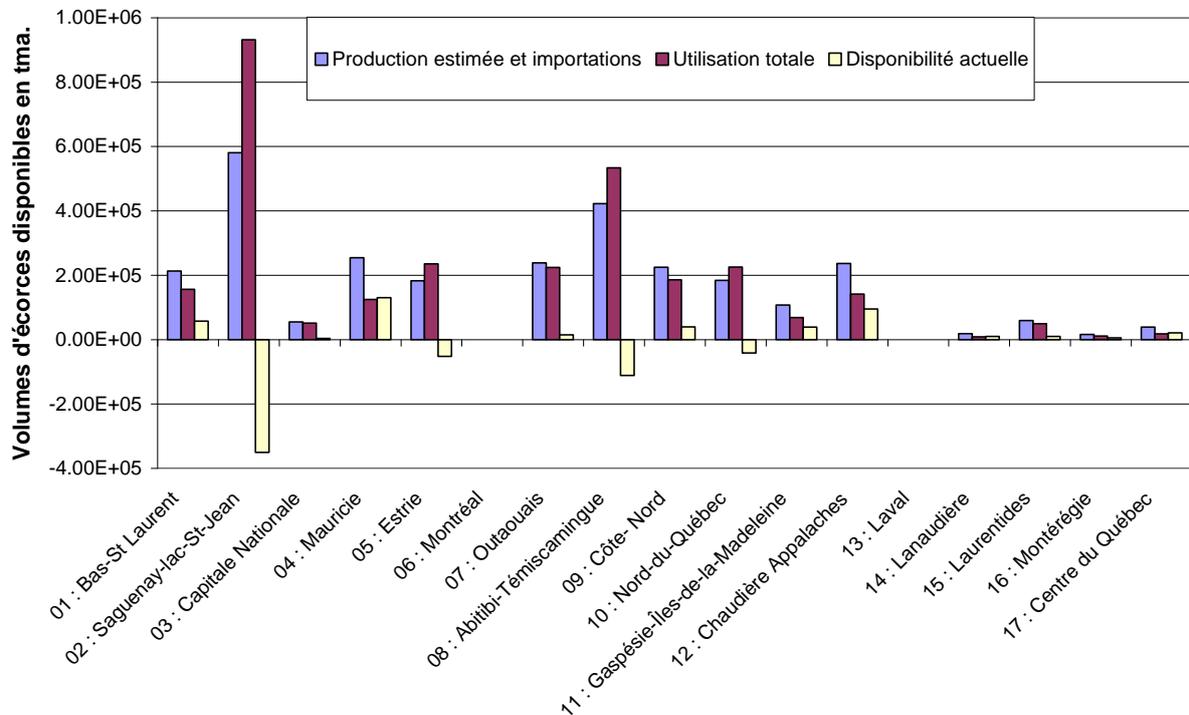


Figure 12: Bilan des écorces en 2007 en fonction de la région administrative³⁴.

Sur le graphique de la figure 12, l'utilisation totale comprend la consommation à des fins énergétiques, industrielles et agricoles. Les volumes disponibles sont donnés en tenant compte des différents projets à l'étude.
Note : Les facteurs de conversion suivants sont utilisés : 0,075 tonne métrique anhydre par mètre cube de bois consommé pour les résineux et 0,095 tonne métrique anhydre par mètre cube de bois consommés pour les feuillus.

³⁴ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

3. Voies de conversion de la biomasse ligno-cellulosique.³⁵

À l'instar des raffineries pétrolières qui produisent du mazout et des essences légères, mais aussi des dérivés utilisés dans la composition de différents produits (colles, adhésifs, polyuréthane, plastique, etc.), les usines de l'industrie forestière pourront dans un avenir rapproché devenir de véritables raffineries de biomasse ligno-cellulosique. Dès lors, les dérivés de la lignine, de la cellulose et des hémicelluloses sauront remplacer, en partie ou en totalité, ceux du pétrole tels que les colles à base de pétrole, par exemple dans des produits lamellés-collés. Techniquement, la bioraffinerie ligno-cellulosique met en œuvre des méthodologies similaires à celles utilisées par l'industrie pétrochimique; on vise essentiellement à séparer efficacement les constituantes de la biomasse (dans ce cas, les biomatériaux constitutifs du bois, comme différentes lignines, la cellulose, les hémicelluloses, etc.) pour les convertir en une série de produits chimiques à valeur élevée. Ces produits dérivables du bois sont nombreux, mais ils se classent en trois catégories:

- La bioénergie (production d'éthanol ou autres combustibles),
- Les biomatériaux : (i) les lignines industrielles pour lesquelles on peut développer multiples applications ; à date, seuls les lignosulphonates sont utilisés en tant que stabilisateurs d'émulsions, dans le béton etc.. (ii) La cellulose pure, de qualité dite 'pâte dissoute' qui peut être utilisée dans l'industrie textile ou pharmaceutique. (iii) Les hémicelluloses quant à elles sont à la base de composés tels que le xylose, le furfural et l'acide lévulinique qu'on peut diriger vers diverses synthèses chimiques,
- Les bioproduits : par exemple les nanocelluloses cristallines, qui sont obtenues à partir de la cellulose réduite à un état cristallin, et qui présentent des propriétés uniques.

³⁵ Browne T., Paice M., Jemaa N., Paleologou M., Zhang X. et Champoux M. (2009) Le bioraffinage forestier : Possibilité pour les entreprises québécoises de pâtes et papiers. MRNF – FPInnovations-Paprican - Guide de développement

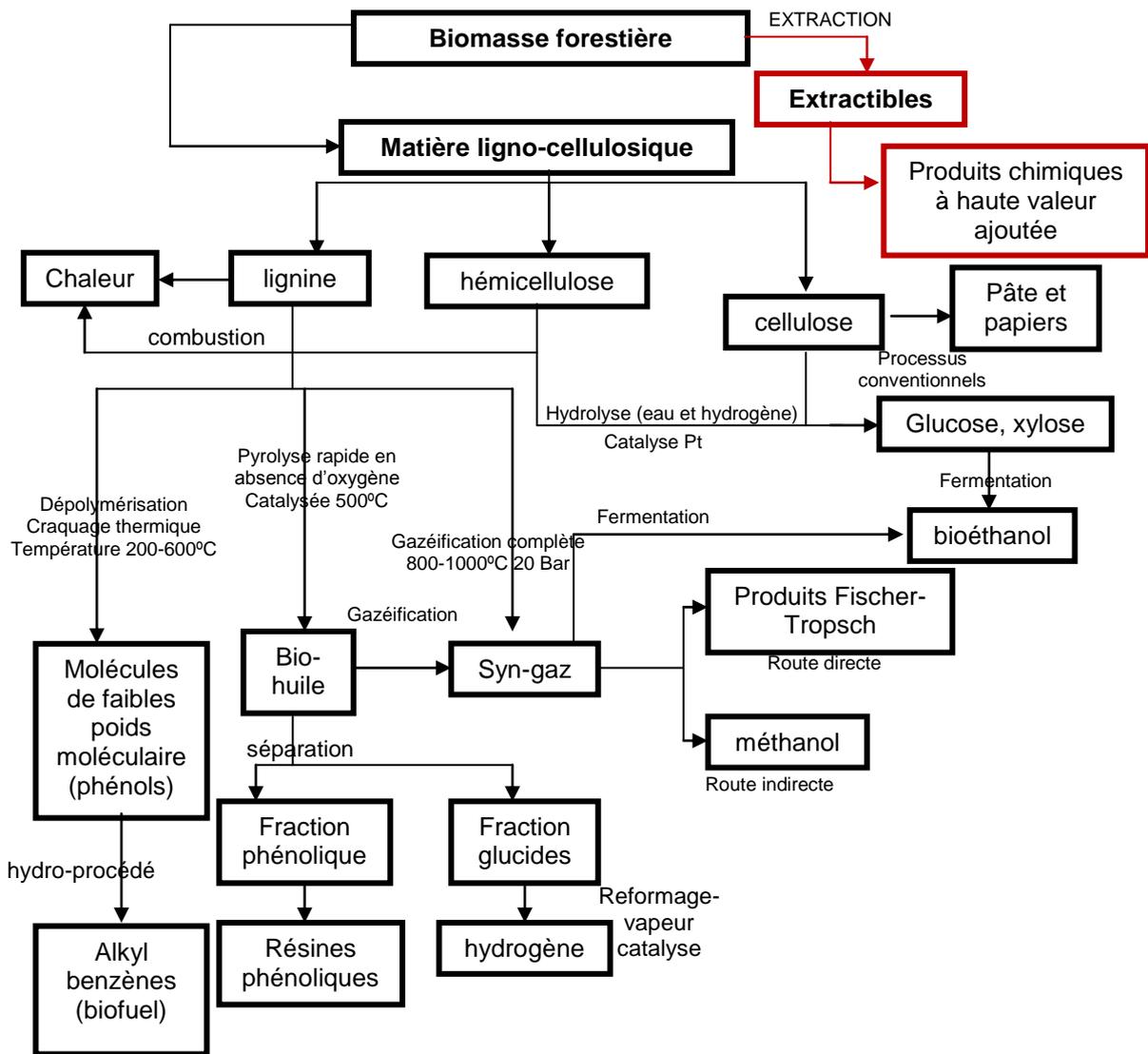


Figure 13 : Voies de conversion de la biomasse forestière.

La cellulose et les hémicelluloses sont des polysaccharides (sucres) sous forme de chaînes constituées de monosaccharides, tandis que les lignines sont formées de polyphénols. Ces polymères naturels sont liés par des liaisons covalentes (lignines et hémicelluloses) ou par des forces d'attraction intermoléculaire les unes aux autres pour former un réseau de macromolécules assurant la rigidité des parois cellulaires, constituant ainsi le matériau bois. Par contre, les extractibles ou métabolites secondaires qui nous intéressent dans le présent mandat, sont des molécules libres se trouvant dans les divers types de pores de la structure du bois. Normalement ces molécules sont de faible poids moléculaire et peuvent être facilement extraites à l'aide de solvants (d'où le terme « extractibles »), car elles forment des liaisons de

faible énergie avec le réseau de macromolécules³⁶. Le tableau 5 décrit les proportions en % des composantes du bois dans les résineux et les feuillus ainsi que dans les écorces en général.

Tableau 5 Composition chimique du bois selon le type d'essence et dans les écorces³⁷.

Composition chimique du bois				
	Cellulose	Hémicelluloses	Lignine	Matières extractibles
Résineux	41-46%	25-32%	26-31%	2-5%
Feuillus	42-49%	23-24%	20-26%	3-8%
Écorces	16-40%	38-58%	40-50%	2-25%

3.1. Les hémicelluloses

Une partie des hémicelluloses peut apparaître comme sous-produit de la mise en pâte chimique. Ce sont des polysaccharides (polymères des sucres), composés de plusieurs types de sucres simples ; la cellulose quant à elle ne contient que du glucose. Les hémicelluloses étant des polysaccharides ramifiés et de plus faible masse molaire, sont plus facilement décomposables que la cellulose. Une combinaison de chaleur douce, de pression et des conditions acides (ou basiques) permet de dégrader les hémicelluloses en un mélange composé de glucides, principalement du xylose dans le cas des feuillus. Le xylose (un sucre pentose c'est-à-dire à cinq atomes de carbone) provenant des xylanes, principaux hémicelluloses des feuillus, se prête mal à la fermentation car la production d'éthanol est basée sur la fermentation des sucres hexoses) ; on sait également que les hémicelluloses dégradées s'opposent à la fermentation aussi à cause de la présence de polymères courts ou à cause d'autres composés indésirables (acides acétique et formique, furfural, substances phénoliques). Inversement, dans le cas des essences de bois résineux, les hémicelluloses sont principalement composée d'hexoses (sucres à six atomes de carbone) faciles à fermenter. Fait à noter, les hémicelluloses contribuent à augmenter la résistance du papier, d'où l'importance de ne pas les extraire totalement de la pâte.

Dans les usines de pâte chimique kraft du Québec, on brûle les produits solubilisés des hémicelluloses et la lignine (liqueur noire) pour produire de la chaleur ainsi que de

³⁶ Stevanovic T. and Perrin D. (2009) Chimie du bois, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Nancy, 241 p.

³⁷ Browne T., Paice M., Jemaa N., Paleologou M., Zhang X. et Champoux M. (2009) Le bioraffinage forestier : Possibilité pour les entreprises québécoises de pâtes et papiers. MRNF – FPInnovations-Paprican - Guide de développement

l'électricité, et l'on recycle les produits chimiques inorganiques qui sont alors transformés en liqueur fraîche de cuisson. Logiquement une plus grande proportion de ces hémicelluloses dissoutes pourrait être affectée à des usages plus rentables.

Quant aux produits dérivés des hémicelluloses, on les classe principalement en trois catégories (Fig. 14):

- Les matières polymères : polymères furaniques (ex : mousses isolantes de polyuréthane, composites), polymères d'acide itaconique³⁸. On fabrique des matériaux plastiques à partir des xyloxyanes tels que les films d'emballage dont les principaux avantages sont sa biodégradabilité et sa faible perméabilité à l'oxygène (pour éviter l'oxydation des produits emballés)³⁹, perméable à la vapeur d'eau et possède une bonne réactivité chimique. Les caractéristiques de ces bio-polymères les rendent applicables dans trois grands secteurs : la médecine, l'agriculture et l'emballage. Par exemple, dans le secteur médical, c'est leur biocompatibilité, leur biorésorbabilité et leur résistance mécanique qui sont appréciées.
- Les sucres (divers monosaccharides et oligosaccharides) et le xylitol (substitut du glucose dans les aliments pour prévenir du diabète, prévient également des caries dentaires, utilisé dans le traitement de l'ostéoporose). L'acidification du xylose permet la production de furfural et dérivés (alcool furfurylique par exemple), trouvant des applications dans le traitement du bois et permet de fabriquer les résines epoxy, résines phénols- furfural, etc⁴⁰.
- Les produits de fermentation : éthanol (employé comme biocarburant ou comme produit chimique servant à d'autres applications), butanol, acide lactique, etc., servant de précurseurs à de nombreux autres produits.

³⁸ Rabetafika H. N., Paquot M. et Dubois P. (2006) Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 10(3) : 185-196.

³⁹ Gatenholm P., Bodin A., Dammstrom S. and Eriksson L. (2008) Polymeric film or coating comprising hemicellulose, Aktiebolag, X., Patent US7, 427, 643 B2, Gothenburg.

⁴⁰ Chamoulaud G. (2000) Valorisation de la biomasse : Transformations électrocatalytiques du Furfural. Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Ingénierie Chimique Biologique Géologique, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées. 153pp.

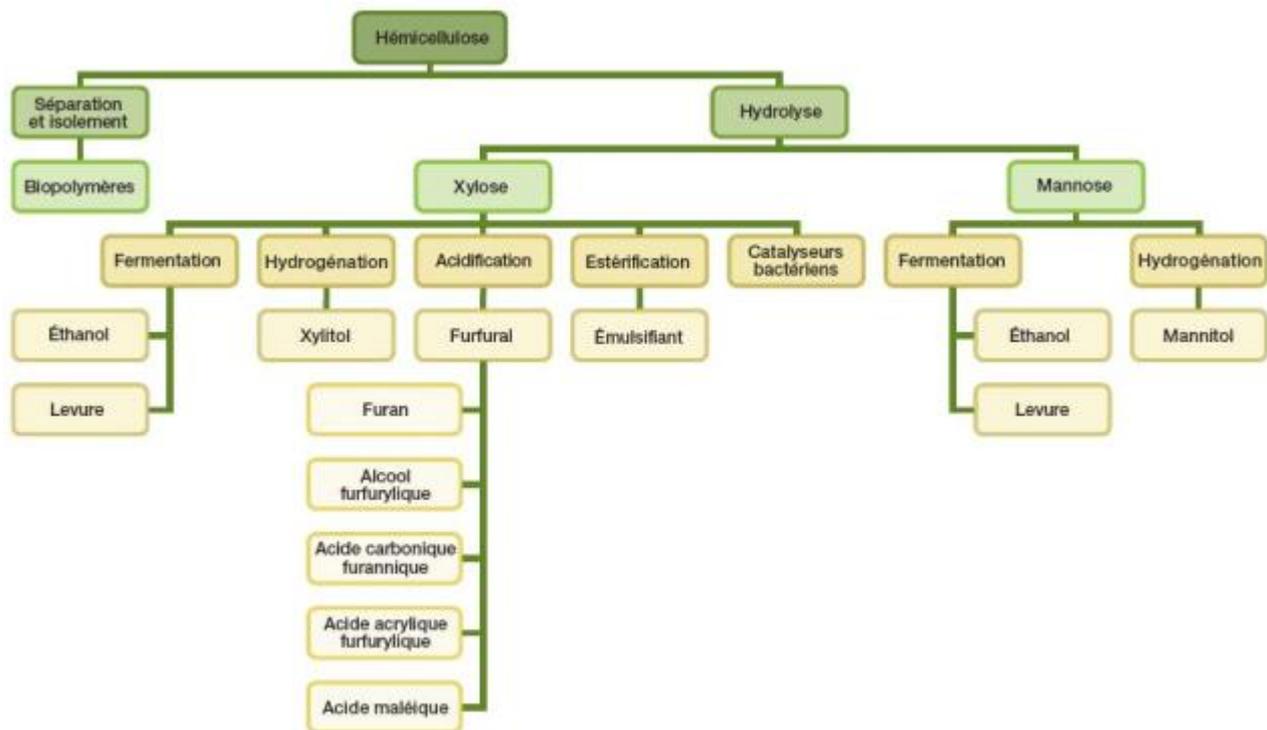


Figure 14 : Produits chimiques et polymères issus des hémicelluloses⁴¹

3.2. La lignine

La lignine est un polymère à poids moléculaire élevé composé de nombreux monomères phénoliques. Chimiquement, elle contient plusieurs types de groupes fonctionnels, ce qui en fait une source potentiellement riche en produits chimiques divers. La lignine dissoute dans la liqueur de cuisson obtenue par la mise en pâte chimique kraft est généralement concentrée et utilisée comme combustible dans une chaudière de récupération. Des procédés en cours d'élaboration, notamment par acidification de la liqueur de cuisson, permettent de la précipiter et donc de la récupérer sous forme solide. L'« extraction » de la lignine est à l'étude dans deux usines de pâte canadiennes, l'objectif étant d'évaluer les méthodes pour l'extraire et la purifier, puis de trouver des façons de la dériver. Rappelons que la lignine résiduelle suite à la fermentation alcoolique de la biomasse lignocellulosique va devenir disponible sous peu (lignine d'hydrolyse).

Les produits commerciaux dérivés comprennent notamment les lignines industrielles dans les nouveaux matériaux ou sous forme de phénols et de polyols, le polyuréthane, le charbon activé, les fibres de carbone et comme antioxydants. Jusqu'ici, la plupart des produits fabriqués à partir de la lignine se sont révélés peu concurrentiels par rapport à ceux de

⁴¹ <http://www.ic.gc.ca/eic/site/lsg-pdsv.nsf/fra/hn01673.html>

l'industrie pétrochimique. Cependant, les conditions sont appelées à changer, et les modèles économiques décrits précédemment devront déterminer à quel moment et pour quels produits la production commerciale deviendra rentable.

3.3. La cellulose

Les microfibrilles de la cellulose se composent des milliers de brins, chaque brin est composé de centaines d'unités de glucose, reliées ensemble par de liaisons osidiques. La cellulose est enveloppée dans une gaine d'hémicellulose et de lignine, qui la protège contre la dégradation. En production d'éthanol, la conversion de la cellulose en glucose consiste à hydrolyser les molécules de cellulose en glucose à l'aide d'enzymes (hydrolyse enzymatique) ; par la suite ce glucose peut être alors converti par fermentation levurienne en éthanol. Dans ces procédés, la lignine demeure un résidu solide qu'on a tout intérêt à valoriser. On peut l'utiliser pour alimenter une unité de cogénération à même de fournir à la fois la chaleur nécessaire à la distillation et de l'électricité à exporter. Cependant, on peut imaginer d'autres types de transformation de la lignine d'hydrolyse pour la valoriser par exemple dans le secteur des matériaux (voir plus haut).

La plupart des enzymes 'cellulases' sont des complexes de trois enzymes qui agissent de concert pour hydrolyser la cellulose. Séquentiellement, une endoglucanase casse l'une des chaînes dans la structure moléculaire de la cellulose, puis une exoglucanase s'attache à l'une des extrémités disponibles, pousse la chaîne de cellulose hors de la structure moléculaire et opère sur la longueur de la chaîne, en coupant des unités de cellobiose (c'est-à-dire deux unités de glucose reliées ensemble). Pour terminer, une β -glucosidase scinde la cellobiose en deux molécules de glucose, qui peuvent alors être fermentées et transformées en éthanol.

L'industrie de la cellulose chimique est aussi ancienne que celle des pâtes et papiers. La cellulose est extraite lors des procédés de mise en pâte chimique classiques (kraft ou sulfate, bisulfite ou préhydrolyse). La pâte produite doit ensuite être blanchie afin d'obtenir une qualité de cellulose particulièrement pure. Elle est alors convertie en dérivés chimiques ou rendue soluble et régénérée sous forme de fibres et de pellicules de cellulose comme les pellicules d'acétate de cellulose (polyesters) que l'on retrouve dans les emballages et dans les filtres de cigarette, ou encore dans les tissus et les câbles en rayonne. Les dérivés commerciaux de la cellulose comprennent également la nitrocellulose (explosif) et les polyéthers employés comme additifs texturants dans la crème glacée, les shampoings, les détergents et les peintures.

Comme tous les nanomatériaux (NM), la nanocellulose cristalline est microscopique et ses propriétés sont différentes de celles du matériau dont elle origine. On l'obtient sous forme d'aiguilles (dimensions typiques 200 nm sur 10 nm) en contrôlant la digestion acide de la cellulose. Découverte par un chercheur suédois dans les années 1950, développée par un chercheur de l'Université McGill dans les années 1990 et produite en quantités de plusieurs kilogrammes par l'institut Paprican dans les années 2000, elle offre entre autres propriétés un rapport résistance-poids exceptionnel, une capacité unique de transformation en pellicule et aussi une efficacité semblable aux cristaux liquides. Lorsqu'elle est suspendue dans l'eau, la cellulose nanocristalline s'auto-assemble en cristaux liquides qui demeurent intacts lorsqu'ils sont secs. On obtient ainsi une pellicule ayant des propriétés iridescentes que n'ont habituellement que les cristaux liquides synthétiques ; la pellicule reflète la lumière visible à une longueur d'onde spécifique qui change en fonction de l'angle, une caractéristique qui sera probablement exploitée pour produire des papiers de sécurité de grande valeur. On peut aussi l'utiliser comme agent de renforcement des polymères biodégradables et des nanocomposites, comme additif dans la peinture et le vernis et aussi pour empêcher l'infiltration des gaz à l'intérieur des emballages. Les méthodes actuelles permettent d'en fabriquer quotidiennement des kilogrammes et la prochaine étape sera d'en produire à la tonne.

3.4. Les extractibles

Les matières extractibles contenues dans le bois et particulièrement dans les écorces, peuvent servir à la fabrication de nombreux produits à haute valeur ajoutée. Les volumes disponibles étant à priori faibles proportionnellement à la biomasse forestière totale, ces matières présentent un intérêt vérifiable si leur prix de vente est élevé et leur fabrication relève plutôt de petites unités de production spécialisées.

4. Les extractibles forestiers

Afin de définir les voies de conversion des extractibles issus de la biomasse forestière de Québec, il est essentiel d'effectuer une revue bibliographique visant à rassembler les informations sur la nature et le potentiel biologique des composés présents dans les tissus résiduels des diverses essences les plus commercialisées. Ces tissus comprennent en particulier les écorces, rémanents des usines de première transformation. Notre analyse permettra aux acteurs de l'industrie forestière de chaque région du Québec de cibler les essences phares dont les extraits d'écorces pourront être valorisés sur des marchés hautement porteurs tels que la pharmaceutique, la cosmétique, l'agro-alimentaire et la nutraceutique.

4.1. Classification des extractibles et leurs propriétés

Les extractibles sont des composés de faible poids moléculaire que l'on trouve dans la structure poreuse du bois. Ce nom vient du fait qu'ils peuvent être aisément extraits à l'aide de solvants organiques ou aqueux (eau), sans procéder à des traitements sévères tels que ceux qui modifient chimiquement les constituants structuraux du bois (cellulose, hémicelluloses, lignine). Les extractibles regroupent toute une gamme de composés dont la plupart sont des métabolites secondaires, c'est-à-dire des composés qui ne sont pas indispensables à la croissance de la plante. La plupart des extractibles sont localisés dans les lumens des cellules du bois - espaces vides entre les cellules - mais certains font partie des exsudats élaborés par des cellules spéciales appelées canaux résinifères. La résine, sécrétion de l'aubier, dans tous les «conifères» est une substance visqueuse et combustible produite par les arbres résineux tels les sapins, épicéas et pins, dont en particulier le pin maritime (*Pinus pinaster*). Cette résine est aussi appelée la gemme⁴².

Entre les différentes espèces d'arbres, les différences de structure chimique qui existent au niveau des trois constituants principaux, i.e. la cellulose, la lignine et les hémicelluloses, sont minimales⁴³. Cependant, on constate avec intérêt de grandes variations dans la composition en extractibles d'une essence à l'autre. En effet, la teneur qui peut aller de 5 à 20% ainsi que la nature des extractibles varient selon l'essence, le site géographique, la génétique ou encore la

⁴² Stevanovic T. and Perrin D. (2009) Chimie du bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, Nancy, 241 p.

⁴³ Hon D.N.-S. and Shiraishi N. (2001) Wood and cellulosic chemistry, Marcel Dekker, Inc., New York., 914 p.

saison. Les extractibles présents dans le bois sont responsables de sa couleur^{44,45}, son odeur, son hygroscopie⁴⁶, sa durabilité naturelle^{47, 48}, ses propriétés physiques et mécaniques (stabilité dimensionnelle⁴⁹, propriétés acoustiques⁵⁰). Les extractibles sont également responsables de la qualité de la pâte et de la capacité d'adhésion de la colle⁵¹. De nombreux extractibles présentent des activités biologiques particulières ; les extraits de bois ont été utilisés pendant des siècles comme sources de remèdes traditionnels⁵².

On constate donc que ces molécules spécifiques à chaque type d'essence forestière, malgré leur faible concentration dans le bois comparativement à celle des trois polymères structuraux, sont responsables de la variabilité de plusieurs propriétés entre les diverses espèces mais aussi à l'intérieur d'un même arbre (exemple : la différence aubier-duramen)^{53, 54, 55}. Différentes familles, genres et espèces contiennent différents types d'extractibles. Certaines de ces molécules sont de véritables 'chimiotaxons', autrement dit, des marqueurs dont la présence est caractéristique de la famille, du genre ou de l'espèce. Ces chimiotaxons permettent d'identifier le matériel végétal ('signature chimique'). Citons comme exemple, la famille des Cupressacées qui est la seule source de composés terpéniques de nature aromatique, les tropolones, dont les thuyaplicines qu'on retrouve dans le bois du cœur de thuya⁵⁶. La diversité

⁴⁴ Amusant N., (2003). Durabilité naturelle et couleur des bois de Guyane : mesure, variabilité, déterminisme chimique. Applications à *Dicorynia guianensis* (Angélique), *Sextonia rubra* (Grignon), *Eperua falcata* (Wapa) et *Eperua grandiflora* (Wapa courbaril). Sciences forestières et Sciences du bois, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, pp. 228

⁴⁵ Gierlinger N., Jacques D., Grabner M., Wimmer R., Schwanninger M., Rozenberg P. and Pâques L.E. (2004). Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. *Trees* 18: 102-108.

⁴⁶ Krutul D. (1992). The effect of extractives substances soluble in the alcohol-benzene mixture and in alkalies on some hygroscopic properties of birch wood. *Forestry and Wood Technology* 43: 93-99.

⁴⁷ Aloui F., Ayadi N., Charrier F. and Charrier B. (2004). Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. *Holz Roh Werkst* 62(4): 286-290.

⁴⁸ Barbosa A.P., Nascimento C.S.d. and Morais J.W.d. (2007). Studies on the antitermitic properties of wood and bark crude extracts of forest species from Central Amazonian, Brazil. *Acta Amazonica* 37(2): 213-218.

⁴⁹ Royer M., Stien D., Beauchêne J., Herbette G.t., McLean J.P., Thibaut A. and Thibaut B. (2010) Extractives of the tropical wood wallaba (*Eperua falcata* Aubl.) as natural anti-swelling agents. *Holzforschung* 64(2): 211-215.

⁵⁰ Minato K. and Sakai K., (1997). The vibrational properties of wood impregnated with extractives of some species of Leguminosae. *Mokuzai Gakkaishi* 43(12): 1035-1037.

⁵¹ Nussbaum R.M. and Sterley M., (2002). The effect of wood extractive content on glue adhesion and surface wettability of wood. *Wood and Fiber Science* 34(1): 57-71.

⁵² Arnason T., Hebda R.J. and Johns T., (1981). Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 59: 2189-2325.

⁵³ Mosedale J.R., Feuillat F., Baumes R., Dupouey J.L. and Puech J.L. (1998). Variability of wood extractives among *Quercus robur* and *Quercus petraea* trees from mixed stands and their relation to wood anatomy and leaf morphology. *Canadian Journal of Forest Research* 28(7): 994-1006.

⁵⁴ Par Eero Sjöström, Raimo Alén Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking

⁵⁵ Lacandula J.O. (2002). Variations in the physics of wood of selected Philippine tree species as a function Of extractive content. *CMU Journal of Science* 10(1): 69-111.

⁵⁶ Stevanovic T. and Perrin D. (2009) *Chimie du bois*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Nancy, 241 p.

des structures de ces molécules permet de les classer en plusieurs familles⁵⁷ ; les terpénoïdes (y compris les tropolones), les cires et les graisses, les polyphénols (composés benzéniques contenant plusieurs hydroxyles phénoliques), les sels d'acides organiques, les glucides complexes et les composés azotés (protéines, alcaloïdes).

Il ressort que les extraits de différents bois et écorces sont toujours des mélanges complexes dont le profil de composition dépend du solvant et de la méthode d'extraction utilisés^{58,59}. Les extractibles du tissu bois diffèrent de ceux du tissu écorce. Comme le présent mandat vise à mettre en évidence des voies de conversion à haut potentiel des résidus de l'industrie forestière québécoise, les deux classes d'extractibles de l'écorce qui sont d'un grand intérêt dans cette optique sont les terpènes et les polyphénols. En effet, ces composés sont non seulement les extractibles les plus abondants dans les essences qui nous intéressent, mais de plus, ils offrent diverses applications pratiques dans les domaines pharmaceutiques, nutraceutiques et cosmétiques à cause de leurs propriétés physico-chimiques et biologiques. Dans les paragraphes suivants, nous effectuons donc une description de ces deux classes d'extractibles en décrivant les diverses propriétés qui leur sont attribuées ainsi que leurs applications existantes dans les 4 secteurs visés dans ce mandat.

4.1.1. Gros plan sur les terpènes et terpénoïdes

4.1.1.1. Leur nature et leurs propriétés

Les terpènes constituent un vaste groupe de composés naturels avec lesquels nous sommes en contact quotidiennement de façon directe ou indirecte. Les sources les plus abondantes de composés terpéniques demeurent les conifères. En effet, les terpènes sont parmi les composés majoritaires des résines dont la structure est une répétition d'un nombre varié d'unités isopréniques (C₅). Le terme « terpénoïdes » est utilisé pour décrire les composés dérivés des terpènes mais qui de plus présentent des fonctions telles que : acide (-COOH), alcool (-OH),

⁵⁷ Stevanovic T. and Perrin D. (2009) Chimie du bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, Nancy, 241 p.

⁵⁸ Royer M. (2008) Les molécules responsables de la stabilité des bois: cas des bois tropicaux de Guyane Française Unité Mixte de Recherche Ecologie des forêts de Guyane, Université des Antilles et de la Guyane, Cayenne, pp. 242.

⁵⁹ Diouf P.N., Stevanovic T. and Boutin Y. (2009) The effect of extraction process on polyphenol content, triterpene composition and bioactivity of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) extracts. Industrial Crops and Products 30(2): 297-303.

cétone (= O) etc. La chimie des composés terpéniques est complexe et regroupe les terpènes, les tropolones, les stéroïdes et les taxanes.

Souvent impliqués dans la résistance de l'arbre aux maladies et aux attaques des microorganismes, la concentration de ces composés augmente à la suite d'une attaque par prédateurs ou parasites. Ce phénomène est à la base des interactions écologiques des arbres forestiers. En fortes concentrations, les terpénoïdes s'avèrent toxiques et jouent le rôle d'agents protecteurs contre les pathogènes et les herbivores. Certains de ces composés qui sont volatils (p. ex : monoterpènes) servent de chimio-informateurs, d'appétants ou de répulsifs, et sont responsables de l'odeur du matériel végétal.

Dans cette classe on distingue séquentiellement : (i) les monoterpènes (C_{10} = 2 unités d'isoprène) et (ii) les sesquiterpènes (C_{15} = 3 unités d'isoprène), parmi lesquels les huiles essentielles, (iii) les diterpènes (C_{20} = 4 unités d'isoprène) dont certains acides qui sont souvent les composés majoritaires des résines, (iv) les sesterpènes (C_{25} = 5 unités d'isoprène), (v) les triterpènes (C_{30} = 6 unités d'isoprène) de diverses structures et toujours présents dans les plantes vasculaires, (vi) les caroténoïdes tétraterpènes (C_{40} = 8 unités d'isoprène) abondants dans notre alimentation quotidienne, et enfin (vii) les polyterpènes (au-delà de 8 unités) qui sont les composés principaux des latex. Presque tous les terpènes présentent des activités biologiques et des applications thérapeutiques. A ce niveau, plusieurs études ont mis en évidence le fort potentiel biologique des triterpènes et des triterpènes glycosidiques aussi connus sous le terme de saponins⁶⁰. L'intérêt grandissant envers cette classe de composés est dû à leur large spectre de bioactivités et donc leurs applications potentielles comme prévention en santé humaine⁶¹. De nombreuses études leur ont attribué notamment les propriétés suivantes: antimicrobienne^{62,63}, fongicide⁶⁴, antivirale⁶⁵, anti-inflammatoire⁶⁶, cytotoxique⁶⁷, anticancer^{68,69} etc.

⁶⁰ Patočka, J. (2003) Biologically active pentacyclic triterpenes and their current medicine signification. Journal of applied Biomedicine. 1: 7-12.

⁶¹ Paduch R., Kandefér-Szerszen M., Trytek M. and Fiedurek J. (2007) Terpenes: substances useful in human healthcare. Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis 55(315-327).

⁶² Trombetta D., Castelli F., Sarpietro M.G., Venuti V., Cristani M., Daniele C., Saija A., Mazzanti G. and Bisignano G. (2005) Mechanisms of Antibacterial Action of Three Monoterpenes. Antimicrobial Agents and Chemotherapy 49(6): 2474-2478.

⁶³ Inouye S., Takizawa T. and Yamaguchi H. (2001) Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 47: 565-573.

⁶⁴ Hammer K.A., Carson C.F. and Riley T.V. (2003) Antifungal activity of the components of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 53: 853-860.

⁶⁵ Özçelik B., Gürbüz I., Karaoglu T. and Yesilada E. (2009) Antiviral and antimicrobial activities of three sesquiterpene lactones from *Centaurea solstitialis* L. ssp. *solstitialis*. Microbiology Research 164(5): 545-552.

4.1.1.2. Applications les plus courantes

Citons quelques applications connues de ces composés :

- Le caoutchouc naturel obtenu des polyterpènes qui constituent le latex de l'hévéa, *Hevea brasiliensis*.
- La Gemme qui est un mélange de terpènes extraits du pin maritime, *Pinus pinaster*, autrefois exploitée pour produire l'essence de térébenthine et le colophane utilisés comme produits chimiques de spécialité, et toujours utilisée pour les solvants, les adhésifs, les polymères, les émulsifiants, les revêtements et les produits d'apprêt dans la fabrication de papier.
- L'encens, oléorésine des arbustes du genre *Boswellia* de la famille des Burséracées) et la myrrhe, exsudat du *Commiphora myrrha* (Burséracées), mélanges de polysaccharides complexes et de matières résineuses à base de sesquiterpènes et de triterpènes.
- L'ambre, résine fossilisée des conifères, constitué de terpènes non volatils (diterpènes et au-delà) dont la polymérisation due à l'oxydation au fil du temps les protège des attaques microbiennes et chimiques au cours des années.
- Les huiles essentielles (constituées principalement de monoterpènes, de sesquiterpènes et de leurs dérivés), utilisées largement par les industries de la parfumerie et des arômes pendant des siècles, mais dont les vertus thérapeutiques sont également d'un grand intérêt:
 - ✓ le bois de camphre, *Cinnamomum camphora* de la famille des Lauracées dont l'huile essentielle est constituée principalement de camphre, un monoterpène.
 - ✓ le bois de rose, *Aniba duckei* de la famille des Lauracées dont est extrait le linalool, dérivé d'un alcool monoterpénique non-cyclique.
 - ✓ le bois de santale, *Santalum album* de la famille des Santalacées dont est extrait le santalool, dérivé d'un alcool sesquiterpénique.

/

⁶⁶ Raju G. and Sanjay M.J. (2009) Recent developments in anti-inflammatory natural products. Medicinal Research Reviews (5):767-820.

⁶⁷ Sivropoulou A., Papanikolaou E., Nikolaou C., Kokkini S., Lanaras T. and Arsenakis M. (1996) Antimicrobial and Cytotoxic Activities of Origanum Essential Oils. Journal of Agriculture and Food Chemistry 44(5): 1202-1205.

⁶⁸ Gould, M.N. (1997) Cancer chemoprevention and therapy by monoterpenes. Environmental Health Perspectives 105(suppl. 4): 977-979.

⁶⁹ Bowen I.D. and Ali A.Y. (2007). Anti-tumor terpene compounds. In: Compton Developments LTD. C. D., application number, US 2007/0259056A1.

Les extractibles terpéniques sont fort utiles en pharmaceutique. L'exemple phare en est le paclitaxel qui est extrait de l'écorce ou des aiguilles de l'if de l'Ouest (*Taxus brevifolia*) et de l'if du Canada (*Taxus canadensis*), et réputé pour son activité anticancéreuse⁷⁰. Ce composé est vendu sous le nom de taxol, molécule de la famille des taxanes. Citons comme autre exemple la jubavione, un extractible lipophile du sapin baumier (*Abies balsamea*), de structure sesquiterpénique et qui inhibe l'hormone juvénile chez les coléoptères⁷¹. Les activités anticancéreuses des triterpènes extractibles de l'écorce des bouleaux jaune et blanc (lupéol, bétuline et acide bétulinique) sont également reconnues^{72,73}.

A l'heure actuelle, un des besoins urgents consiste à poursuivre les recherches et les analyses phytochimiques en commençant par les essences les plus abondantes sur le territoire. Ceci permettra d'acquérir et d'intégrer les connaissances nécessaires au développement de produits avec applications sur des marchés aussi pointus que la pharmaceutique ou la nutraceutique. Pour citer la Pr. Stevanovic « *il reste tout un trésor de produits naturels <bioactifs> à découvrir parmi les produits forestiers* »⁷⁴.

4.1.2. Gros plan sur les polyphénols

4.1.2.1. Leur nature et leurs propriétés

Les polyphénols, composés spécifiques au règne végétal, représentent un vaste ensemble de molécules aux structures variées qu'il est difficile de définir de façon simple. L'élément structurel de base est un noyau benzénique auquel sont directement liés un ou plusieurs groupement hydroxyles, libres ou engagés dans une autre fonction chimique (éther méthylique, ester, glycosidique avec les sucres...). Plus de 8000 composés naturels répondant à ces critères structuraux ont été isolés et identifiés⁷⁵. Ils font partie de diverses familles : coumarines, lignanes, stilbènes, flavonoïdes, acides phénoliques, tannins, xanthones, quinones etc. Ces molécules vont du monomère au polymère et incluent divers complexes. Cette

⁷⁰ Witherup K.M., Look S.A., Stasko M.W., Ghiorzi T.J., Muschik G.M. and Cragg G.M. (1990) *Taxus* spp. Needles Contain Amounts of Taxol Comparable to the Bark of *Taxus brevifolia*: Analysis and Isolation. *Journal of Natural Products* 53(5): 1249-1255.

⁷¹ Williams, C. (1970) Hormonal interactions between plants and insects, in *Chemical Ecology*, Sondheimer E. and Simeone J.B. eds., Academic press, New York, pp. 79-87.

⁷² Pichette A., Legault J. and Gauthier C. (2008) Triterpenes derivatives and uses thereof as antitumor agents or anti-inflammatory agents. In: *College M.* (Ed.), Canada.

⁷³ Krasutsky P. (2006) Birch bark research and development. *Natural Products Report* 23: 919-942.

⁷⁴ Stevanovic T. and Perrin D. (2009) *Chimie du bois*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Nancy, 241 p.

⁷⁵ Triaud, J. (1998) Polyphenols 96: 18th International Conference on Polyphenols, Bordeaux.

grande diversité structurale explique leur riche gamme de propriétés physico-chimiques et biologiques, dues principalement à leur grande réactivité chimique (une facilité de créer des liaisons avec d'autres molécules et la possibilité de complexer les métaux tels que le fer ou le cuivre). Leur capacité à interagir avec les protéines cellulaires est un important aspect de leur potentiel biologique. Ils peuvent ainsi agir comme inhibiteurs ou activateurs de nombreux enzymes cellulaires.

Dans le cas des espèces forestières qui nous intéressent, la biosynthèse des polyphénols est étroitement liée à celle des lignines (dérivés du phénylpropane). On en retrouve dans les divers tissus de l'arbre et en grande quantité dans le bois et les écorces. Par ailleurs, ces composés jouent un rôle certain dans la durabilité naturelle inhérente à certaines essences grâce aux synergies créées leurs diverses propriétés^{76,77} : mentionnons leur capacité à piéger les radicaux libres (ce sont de puissants antioxydants), leur capacité à bloquer les processus enzymatiques, de même que leur activité fongicide.^{78,79} En particulier, le rôle des stilbènes a été mis en évidence dans de nombreuses études, notamment sur l'oxyresvératrol. Aussi appelés phytoalexines, ils sont produits en fortes concentrations par la plante en réponse aux attaques de pathogènes^{80,81}. Les recherches ont également montré que les polyphénols (acides phénoliques, tannins condensés, quinones et flavonoïdes) sont responsables de la formation de la couleur du bois car ils présentent des groupements chromophores, capables d'absorber la lumière du visible^{82,83}.

⁷⁶ Royer M. (2008) Les molécules responsables de la stabilité des bois: cas des bois tropicaux de Guyane Française. Unité Mixte de Recherche Ecologie des Forêts de Guyane (UMR ECOFOG), Université des Antilles et de la Guyane, Cayenne, pp. 242.

⁷⁷ Aloui F., Ayadi N., Charrier F. and Charrier B., 2004. Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. *Holz Roh Werkst* 62(4): 286-290.

⁷⁸ Schultz P. and Darrel D.N. (2000) Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. *Phytochemistry* 54: 47-52.

⁷⁹ Schultz T.P. and Nicholas D.D. (2002) Development of environmentally-benign wood preservatives based on the combination of organic biocides with antioxidants and metal chelators. *Phytochemistry* 61(5): 555-560.

⁸⁰ Hart J.H. (1981) Role of Phytostilbenes in Decay and Disease Resistance. *Annual Review of Phytopathology* 19: 437-458.

⁸¹ Woodward S. and Pearce R.B. (1988) The role of stilbenes in resistance of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) to entry of fungal pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 33(1): 127-149.

⁸² Dellus V., Mila I., Scalbert A., Menard C., Michon V. and Herve du Penhoat C.L.M., 1997. Douglas-fir polyphenols and heartwood formation. *Phytochemistry* 45(8): 1573-1578.

⁸³ Johansson C.I., Saddler J.N. and Beatson R.P. (2000) Characterization of the Polyphenolics related to the colour of Western Red Cedar (*Thuja plicata* Donn.) heartwood. *Holzforschung* 54(3): 246-254.

Les composés polyphénoliques suscitent depuis une dizaine d'années un intérêt croissant de la part des nutritionnistes, des industries agro-alimentaires et du consommateur⁸⁴. Ils sont responsables du brunissement, impliqués dans les sensations d'astringence et d'amertume. De plus, comme molécules aromatiques et colorées, les polyphénols exercent un effet majeur sur les caractères organoleptiques d'un grand nombre de produits de par leurs propriétés antiseptiques, antibactériennes, antifongiques^{85, 86, 87, 88}. Ce sont les antioxydants les plus abondants dans les aliments puisque nous en consommons environ 1 g/jour, soit près de dix fois plus que la vitamine C et 100 fois plus que la vitamine E ou les caroténoïdes. Ils peuvent avoir une incidence sur la conservation des produits, en particulier cosmétiques⁸⁹, alimentaires ou pharmaceutiques ; dans tous ces cas la conservation du produit doit être optimale tout au long du cycle de vie. Les polyphénols neutralisent les radicaux libres et leurs propriétés antioxydantes ou anti-inflammatoires participent à la prévention de diverses pathologies impliquant le stress oxydatif et le vieillissement cellulaire, les maladies cardiovasculaires ou dégénératives, l'ostéoporose, le cancer, l'arthrite et aussi le diabète (type II) etc.^{90, 91, 92, 93, 94} En industrie alimentaire, l'ajout d'antioxydants naturels est une intervention relativement nouvelle. Depuis les années 1980, les antioxydants naturels sont apparus comme alternative aux antioxydants synthétiques dont l'innocuité est remise en cause en nutrition humaine et animale⁹⁵. La tendance est irréversible : les antioxydants d'origine naturelle sont aujourd'hui généralement préférés par les consommateurs.

⁸⁴ Stevanovic T., Diouf P.N. and Garcia-Perez M.E., (2009). Bioactive polyphenols from healthy diets and forest biomass. *Current Nutrition and Food Science* 5(4): 264-295.

⁸⁵ Amarowicz R., Dykes G.A. and Pegg R.B. (2008). Antibacterial activity of tannin constituents from *Phaseolus vulgaris*, *Fagopyrum esculentum*, *Corylus avellana* and *Juglans nigra*. *Fitoterapia* 79(3): 217-219.

⁸⁶ Aslam S.N., Stevenson P.C., Kokubun T. and Hall D.R., (2006). Antibacterial and antifungal activity of cicerfuran and related 2-arylbenzofurans and stilbenes *Microbiology research* 164(2): 191-195.

⁸⁷ Bafi-Yebo N.F.A., Arnason J.T., Baker J. and Smith M.L. (2005) Antifungal constituents of Northern prickly ash, *Zanthoxylum americanum* Mill. *Phytomedicine* 12 370–377.

⁸⁸ Fukai T., Kaitou K. and Terada S. (2005). Antimicrobial activity of 2-arylbenzofurans from *Morus* species against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Fitoterapia* 76: 708-711.

⁸⁹ Arct J. and Pytkowska K. (2008) Flavonoids as components of biologically active cosmeceuticals. *Clinics in Dermatology* 26(4): 347-357.

⁹⁰ Federico A, Morgillo F, Tuccillo C, Ciardiello F and Loguercio C. (2007) Chronic inflammation and oxidative stress in human carcinogenesis. *International Journal of Cancer* 121(11): 2381-2386.

⁹¹ Ammar R.B., Bhourri W., Sghaier M.B., Boubaker J., Skandrani I., Neffati A., Bouhlel I., Kilani S., Mariotte A.-M., Chekir-Ghedira L., Dijoux-Franca M.-G. and Ghedira K. (2009) Antioxidant and free radical-scavenging properties of three flavonoids isolated from the leaves of *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae) : A structure-activity relationship study. *Food Chemistry* 116(1): 258-264.

⁹² Atmani D., Chafer N., Berboucha M., Ayouni K., Lounis H., Boudaoud H., Debbache N. and Atmani D., (2009) Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chemistry* 112(2): 303-309.

⁹³ Goetz P. (2007) Phytothérapie du diabète. *Phytothérapie* 5: 212-217.

⁹⁴ Halliwell B. (1996) Antioxidants in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, pp. 33-50.

⁹⁵ Moure A., Cruz J.M., Franco D., Manuel Domínguez J., Sineiro J., Domínguez H., Núñez M.J. and Carlos Parajó J. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry* 72(2): 145-171.

Tableau 6 Terminologie des biophénols.

<i>Classe de polyphénols</i>	<i>Sous-classe</i>	<i>Exemples typiques</i>
Acides benzoïques		Acide salicylique
Acides cinnamiques		Acide ferrulique, acide caféique,
Coumarines		Aesculetine
Flavonoïdes	Flavones	Lutéoline, apigénine
	Isoflavones	Daidzéine, génistéine
	Flavonols	Quercétine, kaempférol
	Flavanonols	Dihydroquercétine
	Flavanones	Hespéritine, naringénine
	Flavan-3-ols	Catéchines
	Chalcones	Phloridzine, arbutine
	Dihydrochalcones	
	Anthocyanidines	Cyanidine, delphinidine
	Anthocyanines	Glycosides anthocyanidines
Tannins	Tannins condensés	Proanthocyanidines, oligomères d'anthocyanidines
	Tannins hydrolysables	Gallotannins, ellagitannins
Lignine		Biopolymère de haut poids moléculaire basé sur des unités phénylpropanoïdes.

4.1.2.2. Applications courantes

Les polyphénols représentent les principes actifs de nombreux médicaments. Citons par exemple l'acide salicylique à la base de l'aspirine, la rutoside (rutine), le glycoside de flavonoïde quercétine (quercetin -3-rutinoside) isolé de plusieurs plantes (eucalyptus, sarrasin, sophora) utilisé dans le traitement des troubles veineux et des capillaires, ou encore l'extrait de ginkgo (*Ginkgo biloba*) dont le principe actif EGb 761 est riche en composés polyphénoliques et notamment en glycosides de flavonols (24 % de l'extrait). En cosmétique, les oligomères procyanidoliques (OPC) isolés de pépins de raisins ont été largement utilisés pour lutter contre le vieillissement de la peau et protéger contre l'action des rayons UV. En agro-alimentaire, mentionnons les extraits de romarin, ainsi que les tocophérols, co-produits de l'industrie céréalière prisés pour leurs propriétés antioxydantes, ou encore les anthocyanes extraits du chou rouge ou de la peau du raisin rouge ; ces derniers sont utilisés de par leur pouvoir colorant mais aussi pour leur capacité à piéger les radicaux libres. Dans ce secteur

d'application, les polyphénols qui sont souvent des substances amères, astringentes ou sucrées, sont également des arômes de choix (tannins de chêne, vanilline, anisaldéhyde...). Dans un tout autre domaine, ces composés et particulièrement les tannins ont été depuis de nombreuses années utilisés dans la fabrication de teintures et pour le tannage.

Tous ces exemples ne constituent qu'un bref aperçu des applications des polyphénols mais ceci démontre que ces composés versatiles, omniprésents dans notre quotidien sous forme d'extraits, de complexes ou sous leur forme pure, permettent de soigner, rehausser les saveurs et les couleurs, protègent contre le rancissement des lipides, etc. Disponibles en grande quantité dans les résidus forestiers, leur extraction et leur conversion permettront de générer des produits naturels et à haute valeur ajoutée, aujourd'hui activement recherchés par le consommateur exigeant qui tend à gérer sa propre santé.

5. État des connaissances sur les extractibles des essences du Québec

5.1. Les extractibles des feuillus du Québec

Dans le chapitre précédent, nous avons dressé un portrait des types d'extractibles présentant un fort intérêt sur les marchés visés dans ce mandat (pharmaceutique, cosmétique, agro-alimentaire, nutraceutique). Le présent chapitre vise à composer un inventaire exhaustif de ces composés déjà isolés et identifiés dans les essences commercialisées au Québec, et en particulier dans leurs écorces. Ceci permettra de proposer à l'industrie forestière les bonnes pistes vers la valorisation de ces résidus.

Nous avons donc procédé en effectuant une revue de littérature par genre, à la fois chez les feuillus et chez les conifères. Les feuillus étudiés sont les suivants :

Tableau 7 Liste des essences feuillues étudiées dans ce chapitre.

Espèce	Nom botanique	Terminologie anglaise
Érable	<i>Acer</i> spp.	Maple
Bouleau	<i>Betula</i> spp.	Birch
Peuplier	<i>Populus</i> spp.	Poplar
Chêne	<i>Quercus</i> spp.	Oak
Frêne	<i>Fraxinus</i> spp.	Ash
Orme	<i>Ulmus</i> spp.	Elm
Tilleul	<i>Tilia</i> spp.	Limetree
Noyer	<i>Juglans</i> spp.	Butternut
Caryer	<i>Carya</i> spp.	Hickory

5.1.1. Les extractibles des essences feuillues d'intérêt commercial

5.1.1.1. L'érable : genre *Acer*

5.1.1.1.1. Les diverses espèces présentes au Canada



Figure 15 : Photo de l'érable à sucre, *Acer saccharum*.

Source : <http://worldsabout.titem.fr/wp-content/uploads/2008/02/erable-a-sucre-acer-saccharum.jpg>

Les érables sont des arbres ou arbustes du genre *Acer* appartenant à la famille des Acéracées.

Au Canada, on en retrouve 14 espèces :

- ✓ Érable à épis (*Acer spicatum*)
- ✓ Érable à feuilles composées (*Acer negundo*)
- ✓ Érable à grandes feuilles ou grandifolié (*Acer macrophyllum*)
- ✓ Érable à sucre (*Acer saccharum*)

- ✓ Érable argenté (*Acer saccharinum*)
- ✓ Érable circiné (*Acer circinatum*)
- ✓ Érable de Norvège (*Acer platanoides*)
- ✓ Érable de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum*)
- ✓ Érable ginnala (*Acer ginnala*)
- ✓ Érable nain (*Acer glabrum* var. *douglasii*)
- ✓ Érable noir (*Acer nigrum*)
- ✓ Érable palmé (*Acer palmatum*)
- ✓ Érable rouge (*Acer rubrum*)
- ✓ Érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*)

La plupart sont indigènes au Canada mais d'autres ont été introduites et sont aujourd'hui totalement naturalisées (mentionnons l'érable de norvège, l'érable ginnala, l'érable palmé et l'érable sycomore). Cinq sont présentes uniquement dans l'Est (érable à sucre, érable rouge, érable noir, érable argenté et érable de Pennsylvanie), trois en Colombie-Britannique (érable grandifolié, érable circiné et érable nain) et un autre (érable négundo) principalement au Manitoba et en Saskatchewan. L'essence la plus importante du point de vue commercial est l'érable à sucre pour son bois très dur. Cependant, le bois des essences telles que l'érable rouge ou l'érable argenté est également utilisé.

5.1.1.1.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière au Québec

Érable à sucre (*Acer saccharum*)

Cet arbre des érablières de forêts décidues du Québec (zone tempérée nordique), est très apprécié pour son sirop, son bois et ses magnifiques couleurs automnales et est aussi un des plus importants arbres de l'Ontario. On l'appelle également l'érable franc. L'érable à sucre est un feuillu commercial important qui est reconnu pour sa dureté, la densité de ses fibres et sa couleur pâle. On utilise le bois de l'érable à sucre pour fabriquer des meubles, des revêtements de sol, des outils agricoles, du placage, des blocs à découper et divers autres produits, en plus de s'en servir pour les travaux généraux de construction. Cette essence s'avère également une bonne source de bois de chauffage pour la maison parce qu'elle fournit beaucoup de chaleur tout en brûlant lentement.

Érable rouge (*Acer rubrum*)

L'érable rouge, connu aussi sous le nom d'érable du Canada, croît principalement dans la région acadienne, dans celle des Grands-Lacs et du Saint-Laurent, et par endroits dans la forêt boréale terre-neuvienne. L'érable rouge est un arbre de taille moyenne, pouvant atteindre des hauteurs de 15 à 30 mètres (rarement plus de 40 m), un diamètre allant de 0,5 à près de 2 m, et

peut vivre de 100 à 200 ans et parfois plus. Dans l'industrie forestière, il est considéré comme un arbre à bois de qualité mais moindre que celle de l'érable à sucre. Son bois plus tendre se travaille plus difficilement et il ``travaille`` plus lors du séchage après traitement mécanique. Par conséquent on préférera employer d'autres érables à bois plus durs dans plusieurs applications. Par contre on l'utilise dans la fabrication de meubles, de palettes en bois et mais également en production papetière.

Érable argenté (Acer saccharinum)

Grand arbre pouvant atteindre 30 m de hauteur, on le trouve le long des rivières Outaouais et Richelieu, et le long du fleuve Saint-Laurent jusqu'au Lac Saint-Pierre ainsi que dans une partie du nord-est des U.S.A. Il est abondamment planté dans les villes et présente un bois plutôt tendre, très blanc, à grain fin et servant à la fabrication de plancher, de meubles, de pièces mécaniques pour piano. Certaines pièces sélectionnées iront à la fabrication de contreplaqué.

5.1.1.1.3. Utilisations traditionnelles

Une étude effectuée par Arnason en 1981 donne une idée des utilisations traditionnelles des essences du Canada⁹⁶. Dans le tableau 8, nous avons repris les données rassemblées par cet auteur concernant le genre Acer.

⁹⁶ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Canadian Journal of Botany 59: 2189-2325.

Tableau 8 Exemples d'utilisations traditionnelles de l'érable par les populations autochtones⁹⁷.

Espèce	Culture	Utilisation	Références
Érable noir	Ojibwa	Fabrication du sucre à partir de la sève	Reagan 1929
Érable rouge	Iroquois	Écorces séchées, broyées sous forme de poudre mélangée à la farine pour la fabrication du pain	Waugh 1916
	Algonquin	Fabrication du sucre à partir de la sève	Black 1980
	Abenaki	Fabrication du sucre à partir de la sève	Rousseau 1947
Érable argenté	Iroquois	Écorces séchées, broyées sous forme de poudre mélangée à la farine pour la fabrication du pain et fabrication du sucre à partir de la sève	Waugh 1916
	Ojibwa	Fabrication du sucre à partir de la sève	Gilmore 1933 et Reagan 1928
Érable à sucre	Ojibwa	Fabrication du sucre à partir de la sève	Rousseau 1945, Smith 1932, Densmore 1928, Gilmore 1933, Reagan 1928, Hoffman 1891, Black 1980 etc..
	Iroquois		
	Algonquin		
	Micmac et Malecite		

D'après les données regroupées lors de nos recherches, la principale utilisation traditionnelle demeure la fabrication du sucre à partir de la sève. On constate aussi que l'écorce interne était utilisée sous forme de produit alimentaire ce qui suggère à une faible toxicité des composés présents⁹⁸. La poudre d'écorce interne servait comme agent épaississant dans les soupes ou était mélangée à des céréales lors de la préparation de pain. A part cette utilisation alimentaire, l'érable rouge a récemment été classé dans la liste des plantes vasculaires médicinales indigènes du Québec, liste établie dans le cadre d'une thèse de maîtrise⁹⁹. Des références mentionnent que l'écorce d'érable rouge est aussi utilisée dans la médecine traditionnelle amérindienne (Ojibwa) comme vermifuge, tonique, et traitement pour les yeux

⁹⁷ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 59: 2189-2325.

⁹⁸ Kunkel G. (1984) Plants for human consumption. *Koeltz Scientific Books*, Koenigstein, 393 pp.

⁹⁹ Léger A. (2008) Biodiversité des plantes médicinales québécoise et dispositifs de protection de la biodiversité et de l'environnement. Thèse de maîtrise en science de l'environnement, Université du Québec, Montréal.

endoloris^{100,101}. Une infusion d'écorce était préconisée pour traiter les crampes et les dysenteries¹⁰².

5.1.1.1.4. Les extractibles connus des érables et leurs propriétés biologiques

Il faut remarquer d'emblée qu'il existe peu d'études sur de la composition en extractibles des écorces des essences canadiennes du genre *Acer*. Cette carence s'applique aussi aux informations sur les propriétés biologiques des extraits, contrairement à l'espèce exotique *Acer nikoense* (Tab.9)^{103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112}.

¹⁰⁰ Krochmal A., Walters R.S., Doughty R.M. (1969) A guide to medicinal plants of Appalachia. *USDA For. Serv. Res. Pap.* NE-138, Northeast. Forest Exp. Sta., Upper Darby, Pa.

¹⁰¹ Wren R.C. (1975) *Potter's New Cyclopaedia of Botanical Drugs and Preparations*. Re-edited and enlarged by Wren RW. Health Science Press, Bradford, 400pp.

¹⁰² Moerman D. (1998) *Native American ethnobotany*. Timber Press, Oregon, 927pp

¹⁰³ Iizuka T., Nagumo S., Yotsumoto H., Moriyama H. and Nagai M. (2007) Vasorelaxant effects of *Acer nikoense* extract and isolated coumarinolignans on rat aortic rings. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 30(6):1164-1166

¹⁰⁴ Sato J., Goto K., Nanjo F., Kawai S. and Murata K. (2000) Antifungal activity of plant extracts against *Arthrinium sacchari* and *Chaetomium funicola*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 90(4):442-446.

¹⁰⁵ Morikawa T., Tao J., Ueda K., Matsuda H. and Yoshikawa M. (2003) Medicinal foodstuffs. XXXI. 1) Structures of new aromatic constituents and inhibitors of degranulation in RBL-2H3 cells from a Japanese folk medicine, the stem bark of *Acer nikoense*. *Chemical Pharmaceutical Bulletin* 51(1):62-67.

¹⁰⁶ Akihisa T., Tagushi Y., Yasukawa K., Tokuda H., Akazawa H., Suzuki T. and Kimura Y. (2006) Acerogenin M, a cyclic diarylheptanoid, and other phenolic compounds from *Acer nikoense* and their anti-inflammatory and anti-tumor-promoting effects *Chemical Pharmaceutical Bulletin* 54(5):735-739.

¹⁰⁷ Morikawa T., Tao J.T., Toguchida I., Matsuda H. and Yoshikawa M. (2003) Structures of new cyclic diarylheptanoids and inhibitors of nitric oxide production from Japanese folk medicine *Acer nikoense*. *Journal of Natural Products* 66(1): 86-91.

¹⁰⁸ Akazawa H., Akihisa T., Taguchi Y., Banno N., Yoneima R. and Yasukawa K. (2006) Melanogenesis Inhibitory and Free Radical Scavenging Activities of Diarylheptanoids and Other Phenolic Compounds from the Bark of *Acer nikoense*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 29(9):1970-1972.

¹⁰⁹ Morikawa T. (2007) Search for bioactive constituents from several medicinal foods: hepatoprotective, antidiabetic, and antiallergic activities. *Journal of Natural Medicine* 61:112-126.

¹¹⁰ Nitta K., Ogawa Y., Negishi F., Takahashi T., Ito A., Hosono M. and Takayanagi Y. (1999) Hot water extract of nikko maple (*Acer nikoense*) induces apoptosis in leukemia cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 22(4):378-381.

¹¹¹ Satoh K., Anzai S. and Sakagami H. (1998) Radical scavenging activity of *Acer nikoense* maxim. extract. *Anticancer Research* 18(2A):833-837.

¹¹² Sakagami H., Anzai S., Goto S. and Takeda M. (1997) Enhancement of cytotoxic activity of ascorbate by *Acer nikoense* maxim. extracts. *Anticancer Res.* 17(6D):4453-4456.

Tableau 9 Exemples d'utilisations traditionnelles de l'érable par les populations autochtones.

Genre <i>Acer</i>	Tissus étudiés	Activités biologiques
<i>Nikoense</i>	Bois	Effet vasorelaxant
<i>Nikoense</i>	Bois	Antifongique
<i>Nikoense</i>	Écorce de branche	Anti-allergénique
<i>Nikoense</i>	Écorce de branche	Anti-inflammatoire Antitumorale
<i>Nikoense</i>	Écorce de branche	Anti-inflammatoire
<i>Nikoense</i>	Écorce	Anti-pigmentaire (tâches cutanées) Antiradicalaire
<i>Nikoense</i>	Écorce	Anti-inflammatoire Anti-allergénique
<i>Nikoense</i>	Écorce	Antitumorale Anti-leucémique
<i>Nikoense</i>	Écorce	Antiradicalaire Activation apoptotique de l'ascorbate
<i>Nikoense</i>	Écorce	Amélioration de la cytotoxicité de l'ascorbate
<i>Nikoense</i>	Branche Feuillage	Anti-inflammatoire
<i>Nikoense</i>	Bois Écorce Ramille Feuillage	Anti-cancérigène Antitumorale

Ceci démontre sans équivoque la nécessité de favoriser des recherches systématiques au Québec dans ce domaine.

Notre recherche bibliographique a permis de localiser quelques travaux portant en particulier sur les feuilles et notamment sur les composés responsables de leur caractère répulsif ou toxique envers certains insectes ou animaux. Par exemple, une étude a permis d'isoler une série de composés polyphénoliques des feuilles de l'érable rouge (acide gallique, gallate de méthyle, gallate d'éthyle et dérivés, 1-*O*-galloyl- β -D-glucose et 1-*O*-galloyl- α -L-rhamnose, dérivés glycosylés du kaempferol et de la quercétine, (-)-épicatchine, (+)-catéchine et acide ellagique) jouant un rôle dans la résistance de cette essence aux larves de la livrée des forêts^{113,114}. Ces composés sont de puissants antioxydants dont les activités biologiques sont aujourd'hui bien connues. D'autres travaux ont également démontré le caractère répulsif ou toxique des feuilles des érables sur les animaux tels que le castor¹¹⁵ (*Acer rubrum*) ou le

¹¹³ Abou-Zaid M.M., Helson B.V., Nozzolillo C. and Arnason J.T. (2001) Ethyl m-Digallate from Red Maple, *Acer rubrum* L., as the Major Resistance Factor to Forest Tent Caterpillar, *Malacosoma disstria* Hbn. *Journal of Chemical Ecology* 27(12): 2517-2527.

¹¹⁴ Abou-Zaid M.M. and Nozzolillo C. (1999) 1-*O*-galloyl-[α]-rhamnose from *Acer rubrum*. *Phytochemistry* 52(8): 1629-1631.

¹¹⁵ Müller-Schwarze D., Schulte B.A., Sun L., Müller-Schwarze A. and Müller-Schwarze C. (1994) Red maple (*Acer rubrum*) inhibits feeding by beaver (*Castor canadensis*). *Journal of Chemical Ecology* 20(8): 2021-2034.

cheval¹¹⁶. Les études faites sur la toxicité des feuilles d'érable chez le cheval montrent une augmentation de la méthaémoglobine causée par les composés polyphénoliques des feuilles d'*Acer saccharinum* et d'*Acer rubrum*. En dehors du sirop et de la sève d'érable d'origine Nord-Américaine, seule l'activité anti-tumorale des feuilles d'*Acer saccharinum*¹¹⁷ a été démontrée. Hagerman dans ses travaux a mesuré une teneur élevée en tannins dans les feuilles d'*Acer saccharum*¹¹⁸. L'équipe de Muller quant à eux ont étudié la variation du taux de composés phénoliques dans les feuilles d'*Acer rubrum* en fonction du stress environnemental¹¹⁹.

Une étude plus récente a mis en évidence les activités antioxydante, antiradicalaire et antimutagénique des polyphénols présents dans la sève et le sirop d'érable à sucre, *Acer saccharum*¹²⁰ et a déterminé la variation d'activité en fonction de la saison. Des travaux ciblant le problème des taches d'oxydation du bois d'aubier d'*Acer saccharum* lors du stockage ont permis l'isolement de la scopoletine¹²¹, un phénol appartenant à la classe des coumarines (dérivé de l'acide o-coumarique). Cette substance s'est avérée active contre l'hyperthyroïdie, l'hyperglycémie, et la peroxydation lipidique¹²².

Par ailleurs, deux études ont établi l'activité antimicrobienne et antifongique des extraits de bois et d'écorce de l'érable rouge, *Acer rubrum* en vue d'applications destinées à l'humain^{123,124}. Ces extraits (bois et écorce) présentent une activité antimicrobienne/antibiotique et antifongique contre plusieurs souches de bactéries et de moisissures pathogènes responsables de maladies infectieuses. Les auteurs ont précisé que les extraits d'écorce présentent des propriétés antimicrobiennes supérieures à celles du bois. Une

¹¹⁶ Boyer J.D., Breeden D.C., Brown D.L. (2002) Isolation, identification, and characterization of compounds from *Acer rubrum* capable of oxidizing equine erythrocytes. *American Journal of Veterinary Research* 63(4):604-610.

¹¹⁷ Bailey A.E., Asplund R.O., Ali M.S. (1986) Isolation of methyl gallate as the antitumor principle of *Acer saccharinum*. *Journal of Natural Products* 49(6):1149-1150.

¹¹⁸ Hagerman A.E. (1988) Extraction of tannin from fresh and preserved leaves. *Journal of Chemical Ecology* 14(2): 453-461.

¹¹⁹ Muller R.N., Kalisz P.J. and Kimmerer T.W. (1987) Intraspecific Variation in Production of Astringent Phenolics over a Vegetation-Resource Availability Gradient. *Oecologia* 72(2): 211-215.

¹²⁰ Thériault M., Caillet S., Kermasha S. and Lacroix M. (2006) Antioxidant, antiradical and antimutagenic activities of phenolic compounds present in maple products. *Food Chemistry* 98(3): 490-501.

¹²¹ Miller D., Sutcliffe R. and Thauvette J. (1990) Sticker stain formation in hardwoods: Isolation of scopoletin from sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.). *Wood Science and Technology*. 24(4): 339-344.

¹²² Panda S. and Kar A. (2006) Evaluation of the antithyroid, antioxidative and antihyperglycemic activity of scopoletin from *Aegle marmelos* leaves in hyperthyroid rats. *Phytotherapy Research* 20(12): 1103-1105.

¹²³ Ficker C.E., Arnason J.T., Vindas P.S., Alvarez L.P., Akpagana K., GbAassor M., De Souza C. and Smith M.L. (2003) Inhibition of human pathogenic fungi by ethnobotanically selected plant extracts. *Mycoses* 46(1-2): 29-37.

¹²⁴ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 73(1-2): 161-170.

étude sur la coloration du bois d'érable rouge a identifié la catéchine et l'acide gallique dans l'extrait à l'eau chaude (suivi d'une hydrolyse acide)¹²⁵. Une autre équipe rapporte que le bois et l'écorce contiennent de la (+)-catéchine et des procyanidines (dimère et trimère pour le bois et l'écorce, respectivement)^{126,127} ; l'écorce contient également du pyrogallol, probablement issu de la dégradation thermique de l'acide gallique lors du procédé d'extraction, sans mentionner une teneur de 6.9% en proanthocyanidines plaçant cette écorce au second rang des écorces d'érables nord-américains les plus riches en tannins derrière l'érable argenté (7.8%)¹²⁸. Hillis¹²⁹ a mis en évidence la présence de tannins hydrolysables dans l'écorce certaines espèces d'érable y compris l'érable rouge (6.9%). L'écorce d'*Acer rubrum* contiendrait de la subérine dont la structure n'a pas été identifiée, à hauteur de 3.1%¹³⁰.

5.1.1.1.5. Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

Le projet **Erable rouge** mené au sein du Laboratoire de Chimie du Bois depuis 2008 avait pour but de définir les pistes scientifiques en vue du développement de nouveaux produits naturels à haute valeur ajoutée. Les potentiels visés étaient les suivants : antioxydants sous forme de suppléments ou d'additifs alimentaires (humain et animal) ou encore incorporés dans des formulations cosmétiques. Nous avons travaillé sur des tissus résiduels de la transformation de l'érable rouge (*Acer rubrum*) de la région Haut-Saint-François - écorces, ramilles et branches - dans le but de proposer des voies de valorisation sans pour autant nuire à leur utilisation actuelle à savoir comme source de combustible énergétique. Dans le cadre de ce projet le laboratoire a réussi à effectuer à la fois l'analyse phytochimique des polyphénols et aussi l'évaluation des bioactivités des extraits (antiradicalaire, antioxydante et hypoglycémique).

¹²⁵ Tattar T.A., Rich A.E. (1973) Extractable phenols in clear, discolored and decayed woody tissues and bark of sugar maple and red maple. *Phytopathology* 63(1):167-169.

¹²⁶ Narayanan V. and Seshadri T.R. (1969) Chemical components of *Acer rubrum* wood and bark: Occurrence of procyanidin dimer and trimer. *Indian Journal of Chemistry*. 7: 213-214.

¹²⁷ Seshadri T.R. (1973) An investigation of the phenolic constituents of certain woods and barks, including North American species and representatives of genera common to North America and India. (J. W. Rowe, USDA PL-480 Proj. FG-In-425, Forest Prod. Lab., Madison, Wis.

¹²⁸ Russell A., Vanneman C.R., Waddey W.E. (1942-1945) Natural tanning materials of the Southeastern United States. Parts IVIII. *Journal of American Leather Chemists Association*. 37:340-356; 38:30-34, 144-148, 235-238, 355-358; 39:173-178; 40:110-121, 422-426.

¹²⁹ Hillis W.E. (1962) *Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries*. Academic Press, New York, 512 pp.

¹³⁰ Harun J., Labosky P. (1985) Chemical constituents of five northeastern barks. *Wood and Fiber Science* 17(2):274-280.

Ces travaux nous ont permis de démontrer que l'écorce d'érable rouge, et dans une moindre mesure les écorces de branches, constituent des sources potentielles de nouveaux agents antioxydants à haute teneur en polyphénols. La simple extraction des écorces à l'eau chaude ainsi qu'à l'éthanol a révélé qu'il est possible de conférer une valeur ajoutée aux écorces. Les résultats sont d'autant plus remarquables car les extraits bruts d'écorce de l'érable rouge, obtenus sans aucune procédure ultérieure de fractionnement et de purification, sont tout aussi efficaces du point de vue antioxydant que l'extrait standardisé d'écorce de pin maritime français commercialisé (Oligopin[®] ou Pycnogenol[®]); des informations sur ce dernier sont disponibles sur les sites <http://www.drtnutraceuticals.com> et <http://www.pycnogenol.com>. Nous avons donc conclu que dans une optique d'applications industrielles, il est préférable d'utiliser les extraits à l'eau chaude car : 1) l'eau est le solvant vert par excellence, et plus économique que l'éthanol; 2) les rendements à l'extraction sont supérieurs comparés à leurs homologues éthanoliques; 3) les propriétés antioxydantes des extraits à l'eau chaude sont statistiquement comparables à celles obtenus à l'éthanol.

Les résultats de ce projet ont fait l'objet d'un article scientifique soumis au périodique Food and Chemical Toxicology¹³¹.

Tableau 10 Rendements à l'extraction (% en masse sur base de tissu anhydre).

Solvant	Branches entières	Bois de branches	Écorce de branches	Écorce	Ramilles
Eau chaude	14,5	7,2	23,7	21,2	16,3
Éthanol (..%)	4,4	2,0	6,8	12,5	4,7

* Deux répétitions et l'écart type de $\pm 3\%$.

Tableau 11 Teneurs en différentes classes de polyphénols dans les extraits à l'eau chaude.

	Branches entières	Bois de branches	Écorce de branches	Écorce	Ramilles
Phénols totaux ^a	115.1	101.1	267.2	323.6	236.5
Acides phénoliques totaux ^b	20.8	26.4	37.0	53.9	33.9
Flavonoïdes totaux ^c	1.7	3.4	3.1	3.9	12.3
Tannins totaux ^a	47.0	36.8	140.2	194.6	118.7
Proanthocyanidines totaux ^d	n.d.	n.d.	57.6	110.9	17.9

¹³¹ Royer M., Diouf P.N. and Stevanovic T. (2009) Polyphenol contents and radical scavenging capacities of Red Maple (*Acer rubrum* L.) extracts. Food and Chemical Toxicology unpublished.

Tableau 12 Teneurs en différentes classes de polyphénols dans les extraits à l'éthanol.

	Branches entières	Bois de branches	Écorce de branches	Écorce	Ramilles
Phénols totaux ^a	196.5	124.8	232.4	494.3	188.5
Acides phénoliques totaux ^b	2.5	8.2	28.0	19.8	0.2
Flavonoïdes totaux ^c	1.9	0.5	0.7	0.6	0.7
Tannins totaux ^a	132.5	61.5	133.0	307.4	116.2
Proanthocyanidines totaux ^d	41.5	40.3	135.2	350.7	110.5

^a exprimé en mg d'équivalent acide tannique par g d'extrait sec.

^b exprimé en mg d'équivalent acide chlorogénique par g d'extrait sec.

^c exprimé en mg d'équivalent catéchine par g d'extrait sec.

^d exprimé en mg d'équivalent proanthocyanidines d'épinette noire par g d'extrait sec.

n.d. : non détecté.

* Trois répétitions et écart type de $\pm 4\%$.

5.1.1.2. Le bouleau : genre *Betula*

5.1.1.2.1. Les diverses espèces présentes au Canada



Figure 16 : Bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marshall.)

Bouleau à papier. — Bouleau blanc, Bouleau à canot. — (Canoë birch). 48° 09' 14.8 0" N - 069° 40' 04.6" O, Côte-Nord, MRC La Haute-Côte-Nord, Tadoussac, chemin du Moulin-à-Baude, secteur des dunes, le samedi 2 juillet 2005. Photo *Betula_papyrifera_007_350*.

On compte 10 espèces de bouleaux sur le territoire canadien et la plupart sont indigènes à part le bouleau verruqueux qui a été introduit.

- ✓ Bouleau à feuilles cordées (*Betula cordifolia*)
- ✓ Bouleau à papier (*Betula papyrifera*)
- ✓ Bouleau bleu (*Betula xcaerulea*)
- ✓ Bouleau d'Alaska (*Betula neoalaskana*)

- ✓ Bouleau flexible (*Betula lenta*)
- ✓ Bouleau fontinal (*Betula occidentalis*)
- ✓ Bouleau gris (*Betula populifolia*)
- ✓ Bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*)
- ✓ Bouleau Kenai (*Betula kenaica*)
- ✓ Bouleau verruqueux (*Betula pendula*)

Les espèces les plus communes au Québec sont le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), le bouleau blanc (*Betula papyfera*) et le bouleau gris (*Betula populifolia*). Le Québec est l'un des endroits où l'on retrouve la plus vaste population de bouleaux jaunes au monde. Cette essence se situe principalement dans la zone de la forêt méridionale sise au sud de la province.

5.1.1.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière

Bouleau jaune (*Betula alleghanensis*)

Digne représentant de la forêt méridionale et du domaine de la sapinière à bouleau jaune, le bouleau jaune (*Betula alleghanensis*), que l'on appelle aussi « merisier », est un des feuillus les plus recherchés pour le bois d'œuvre. Son bois dur à grains serrés résiste bien aux chocs et se façonne facilement. On s'en sert en ébénisterie et pour fabriquer des boiseries, des portes et des parquets. Matière première pour le placage et le contreplaqué, le bouleau jaune est utilisé entre autres dans la fabrication de cercueils et d'instruments aratoires. Tout comme l'érable, cette essence est très appréciée comme bois de chauffage.

Bouleau blanc (*Betula papyrifera*)

Le bouleau blanc est un arbre d'une trentaine de mètres de hauteur qui peut atteindre parfois deux cent ans d'âge. Cependant, la coupe de bois ne lui laisse généralement qu'une espérance de vie d'une quinzaine, voire une vingtaine d'années tout au plus. Il pousse en effet rapidement et parvenir assez vite à ses dimensions requises. Son bois est dur et peu durable, dû au fait qu'il résiste mal à l'humidité. Bon marché du fait qu'il pousse un peu partout (faible influence de la qualité du sol sur sa croissance), c'est par conséquent l'un des bois de chauffage les plus courants mais non le plus efficace. Il est rarement utilisé pour faire des meubles, mais plutôt accessoirement pour fabriquer des sabots, des manches d'ustensiles, des masques et des cure-dents. On en fait aussi du contreplaqué et de la pâte à papier.

Bouleau gris (*Betula populifolia*)

Les gaules du bouleau gris sont très flexibles et on en fait de beaux meubles de jardin. Toutefois cet arbre devient rarement assez grand pour livrer du bois de sciage. On l'utilise pour fabriquer la pâte à papier.

5.1.1.2.3. Utilisations traditionnelles

Il semble que la majorité des renseignements contemporains sur les propriétés médicinales du bouleau concernent le bouleau blanc d'Europe (*Betula pendula* et *Betula verrucosa*). Plusieurs herboristes comparent ce bouleau avec l'espèce retrouvée chez nous. En cuisine, l'usage le mieux connu du bouleau est celui de la sève et du sirop que l'on en dérive. Ce dernier, bien qu'il ait un goût différent, s'utilise comme celui de l'érable. Du vin est également produit à partir de la sève alors que l'on fabrique une bière avec les rameaux, l'écorce et la sève¹³².

Bouleau jaune (*Betula alleghanensis*)

L'écorce de bouleau jaune est considérée comme officinale mais elle peut s'enflammer très rapidement. L'huile essentielle de l'écorce et du tronc possède des propriétés antalgique, anti-inflammatoire et antirhumatismale. Les autochtones d'Amérique du Nord utilisaient le bouleau pour construire leur tente à sudation, à des fins thérapeutiques et spirituelles. Ils mâchaient les ramilles pour se soulager de certains maux. Les Algonquins mélangeaient la sève de bouleau jaune à celle d'*Acer saccharum* pour fabriquer du sucre¹³³. Cependant peu de données détaillées sont disponibles sur l'utilisation traditionnelle de cette essence par les populations autochtones de Québec.

Bouleau blanc (*Betula papyfera*)

Le bouleau blanc est également appelé ``bouleau à canots`` parce que les Amérindiens recouvraient leurs canots avec son écorce très résistante à la dégradation par microorganismes.. L'écorce de bouleau blanc, très populaire chez les chasseurs au Canada, permet de réaliser des appeaux pour attirer l'original ainsi que divers contenants. En Europe, on l'utilisait encore récemment pour fabriquer toutes sortes d'objets : bobines de fil, manches à

¹³² Hocking G.M. (1963) *Betula Species*, Pharmaceutical Biology 3(1): 351-357.

¹³³ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T.(1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Canadian Journal of Botany 59: 2189-2325.

balais, et tonneaux pour conserver le poisson. L'écorce interne peut servir d'aliment pour fabriquer de la farine¹³⁴. De ses feuilles, légèrement amères, on élabore des tisanes contre les rhumatismes, l'hydropsie et les calculs rénaux. En application externe, sous forme de cataplasmes et chauffées à la vapeur, les feuilles de bouleau blanc sont excellentes contre l'eczéma et diverses éruptions de la peau. Les feuilles possèdent une odeur particulière, agréable et légèrement aromatique. On leur confère des propriétés laxatives et toniques. Industriellement, ainsi que dans certains pays d'Europe du Nord, l'huile extraite du bouleau a servi d'insecticide et dans certains onguents pour les mains.

Bouleau gris (*Betula populifolia*)

D'après Ressources Naturelles Canada, on utilisait jadis le bouleau gris pour faire des cercles de tonneaux, du bois à bobines et du bois de chauffage. Cependant, une recherche sur les utilisations médicinales ou alimentaires des tissus ou extraits de cette essence n'a livré que très peu de données ; seules de rares d'études ont été effectuées sur cette essence.

5.1.1.2.4. Les extractibles connus des bouleaux du Québec et leurs propriétés biologiques

Les recherches bibliographiques menées par Martha Estrella Garcia-Pérez³¹ en 2008 dans le cadre de son mémoire de maîtrise (et actuellement aux études doctorales au sein du Laboratoire de Chimie du Bois du CRB) démontrent que, pour le genre *Betula*, on dispose d'études effectuées sur quelques essences européennes mais ceci contraste avec une pénurie de travaux concernant les espèces américaines. Dans le cadre de ce mandat, nous pouvons tirer la même conclusion que cette auteure après une mise à jour des données disponibles sur les extractibles du genre *Betula*, et ceci particulièrement lorsqu'on cible les essences abondantes du Québec. Il a de plus été noté que la plupart des études sur les extractibles des bouleaux qui sont disponibles dans la littérature portent en grande partie sur les feuilles. Cependant, nous avons pu regrouper des informations sur d'autres types de tissus tels le bois, les ramilles et surtout, l'écorce (externe et interne), le résidu qui nous intéresse particulièrement dans notre approche de ce mandat.

¹³⁴ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T.(1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Canadian Journal of Botany 59: 2189-2325.

Dans la plupart des travaux portant sur ce genre, l'essence *Betula pendula* revient le plus fréquemment^{135,136,137}. D'autres études ont porté sur *Betula pubescens*¹³⁸ et *Betula platyphylla* var *japonica*^{139,140}. En général, les résultats montrent clairement que les extraits de bouleaux possèdent des propriétés thérapeutiques. Les chimiotaxons, c'est-à-dire les « marqueurs » du genre *Betula* sont par ailleurs des extractibles qui appartiennent à la classe des terpènes et aussi à celle des polyphénols.

Une revue de littérature publiée en 2006 portant sur les extractibles terpéniques des bouleaux montre que les tissus des essences du genre *Betula* contiennent en grande partie des triterpènes et leurs dérivés¹⁴¹. Par ailleurs, les taux d'extractibles dans les écorces de 38 espèces reconnues comme appartenant au genre *Betula* sont généralement similaires. Ce dernier facteur selon l'auteur faciliterait la gestion de la production en entreprise de plusieurs extraits du genre *Betula*. Le tableau 13 est extrait de la revue de littérature de Krasutsky et indique la nature des triterpènes et des dérivés isolés dans l'écorce de trois espèces du genre *Betula* dont le bouleau blanc (*Betula papyrifera*).

¹³⁵ Willfor, S.M., M.O. Ahotupa, J.E Hemming, M.H.T.Reunanen, P.C Eklund, R.E. Sjöholm, C.S.E Eckerman, S.P. Pohjamo, B.R Holmbom (2003) Antioxidant activity of knotwood extractives and phenolic compounds of selected tree species. *Journal of agricultural and food chemistry*. 51(26): 7600-6.

¹³⁶ Calliste, C.-A., P Trouillas, D.-P. Allais, A. Simon, J.-L Duroux (2001) Free Radical Scavenging Activities Measured by Electron Spin Resonance Spectroscopy and B16 Cell Antiproliferative Behaviors of Seven Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(7): 3321-3327

¹³⁷ Kähkönen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kulaja, T.S., Heinonen, M. (1999) Antioxydant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry* (47) 3954-3962

¹³⁸ Kähkönen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kulaja, T.S., Heinonen, M. (1999) Antioxydant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry* (47) 3954-3962

¹³⁹ Matsuda, H., Ishikado, A., Nishida, N., Ninomiya, K., Fujiwara, H., Kobayashi, Y., Yoshikawa, M. (1998) Hepatoprotective, superoxide scavenging, and antioxidative activities of aromatic constituents from the bark of *Betula platyphylla* var. *japonica*. *Bioorganic & medicinal chemistry letters* 8(21): 2939-44

¹⁴⁰ Ju, E.M., S.E Lee, H.J Hwang, J.H. Kim. (2004) Antioxidant and anticancer activity of extract from *Betula platyphylla* var. *japonica*. *Life Sciences* 74(8): 1013-1026

¹⁴¹ Krasutsky P. (2006) Birch bark research and development. *Natural Products Report* 23: 919-942.

Tableau 13 Proportion de divers composés dans l'extrait d'écorce de trois espèces du genre *Betula*. Tableau extrait de la revue de littérature Krasutsky, 2006¹⁴²

	<i>B. pendula</i> ^{9d,21}	<i>B. papyrifera</i>	<i>B. neoalaskana</i>
Betulin (1)	78.1	72.4	68.1
Betulinic acid (2)	4.3	5.4	12.5
Betulinic aldehyde (3)	1.2	1.3	1.4
Lupeol (4)	7.9	5.9	2.1
Oleanolic acid (5)	2.0	0.3	2.2
Oleanolic acid 3-acetate (6)	—	1.6	3.8
Betulin 3-caféate (7)	0.5	6.2	6.1
Erithrodiol (8)	2.8	—	—
Other (minor)	3.2	6.9	3.8

^a Samples of outer birch bark of *Betula neoalaskana* were kindly transferred for extraction and GC/MS, NMR and HPLC analyses by the Professor of Forest Management, Edmond C. Packee (SNRAS Forest Science Department, University of Alaska, Fairbanks).

L'auteur montre que les proportions de chaque composé peuvent varier d'un arbre à l'autre à l'intérieur d'une même espèce ou encore à cause des saisons, du site géographique ou autres conditions environnementales. Il note que le taux d'acide bétulinique et de l'ester de bétuline (Betulin 3-caféate) dans l'écorce des espèces nord-américaines dont le bouleau blanc est une différence importante – on sait en effet que ces composés sont efficaces comme agents anti-cancer et anti-VIH. L'activité biologique de ces triterpènes et dérivés a fait l'objet de plusieurs études, et deux revues de littérature ont permis de regrouper l'ensemble des données. La couleur blanche de l'écorce de *Betula papyrifera* est par ailleurs due à la bétuline qui remplit les cellules péridermales^{143,144}. Cette substance peut s'extraire facilement dans différents solvants organiques (chloroforme, dichlorométhane, acétone, éthanol et autres). La bétuline est un additif d'intérêt en cosmétique¹⁴⁵ par exemple dans des après-shampoings. La bétuline et l'extrait de bouleau sont déjà utilisés dans l'industrie des nutraceutiques comme supplément alimentaire sous le nom de *Betula*[®] pour protéger le foie, prévenir ou traiter les intoxications dues à la consommation d'alcool ou même en tant qu'additif dans les boissons alcoolisées¹⁴⁶. Ces triterpènes pentacycliques de type « lupane » ont démontré des activités biologiques très diversifiées : bactéricide, antivirale, anti-inflammatoire, cytotoxique,

¹⁴² Krasutsky P. (2006) Birch bark research and development. *Natural Products Report* 23: 919-942.

¹⁴³ Patocka J. (2003) Biologically active pentacyclic triterpenes and their current medicine signification. *Journal of Applied Biomedicine* 1: 7-12.

¹⁴⁴ Alakurtti S., Mäkelä T., Koskimies S. and Yli-Kauhaluoma J. (2006) Pharmacological properties of the ubiquitous natural product betulin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 29(1): 1-13.

¹⁴⁵ Patocka J. (2003) Biologically active pentacyclic triterpenes and their current medicine signification. *Journal of Applied Biomedicine* 1: 7-12.

¹⁴⁶ Krasutsky P. (2006) Birch bark research and development. *Natural Products Report* 23: 919-942.

antitumorale^{147, 148, 149}. De cette série l'acide bétulinique est le composé qui se démarque avec son activité antivirale contre le virus d'immunodéficience humaine (VIH) de type I¹⁵⁰, et on lui assigne également une cytotoxicité sélective envers les mélanomes humains¹⁵¹. L'acide bétulinique montre une absence de toxicité sur modèle murin, et ce même à des doses supérieures à 500 mg/kg de poids corporel. Ces résultats prometteurs ont amené *The National Cancer Institute* (NCI) à inclure l'acide bétulinique dans son programme de développement rapide dit *Rapid Access to Intervention Development* (RAID)¹⁵². Fait intéressant dans les recherches menées par l'auteur Krasutsky, ce dernier conclut que l'utilisation du bouleau blanc (*Betula papyrifera*) en la fabrication de pâtes et papier permettrait d'obtenir quotidiennement environ 40 tonnes d'extrait brut d'écorces externes, matériel dont le rendement en extractibles (bétuline quasi pure, facilement oxydable en acide bétulinique) est d'environ 15%. L'auteur suggère qu'annuellement, un industriel pourrait ainsi produire à partir de ces extraits environ 1800 tonnes de bétuline, environ 75 tonnes d'acide bétulinique et 150 tonnes de lupéol. Malheureusement, actuellement au Québec, les écorces de bouleau sont simplement brûlées, un processus d'ailleurs pas très rentable à cause de leur faible rendement énergétique (soit \$5.0–7.0 tonne⁻¹, 7–11 MJ kg⁻¹ donc inférieur à la valeur type de 15 MJ kg⁻¹ pour la biomasse lignocellulosique).

De nombreuses études se penchent sur l'identification des polyphénols chez le bouleau et portent également sur les variations du contenu en composés phénoliques tel qu'influencé par des facteurs biotiques et abiotiques : niveaux élevés de CO₂, changements de saisons, l'ozone, lumière U.V-B, l'exposition aux microorganismes et mammifères, la température, etc^{153, 154}.

¹⁴⁷ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 73(1-2): 161-170.

¹⁴⁸ Gauthier C. (2006) Glycosidation de terpènes pentacycliques de type lupane et évaluation in vitro de leur potentiel anticancéreux. Chimie, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi.

¹⁴⁹ O'Connell M.M., Bentley M.D., Campbell C.S. and Cole B.J.W. (1988) Betulin and lupeol in bark from four white-barked birches. *Phytochemistry* 27(7): 2175-2176.

¹⁵⁰ Fujioka, T.; Kashiwada, Y.; Kilkuskie, R. E.; Cosentino, L. M.; Bailas, L. M.; Jiang, J. B.; Janzen, W. P.; Chen, I.-S.; Lee, K. H. (1994) Anti-AIDS agents. 11. Betulinic acid and plicatic acid as anti-HIV principles from *Syzigium claviflorum*, and the anti-HIV activity of structurally related triterpenes. *Journal of Natural Products*. 57, 243-247.

¹⁵¹ Pisha, E.; Chai, H.; Lee, I.-S.; Chagwedera, T. E.; Farnsworth, N. R.; Cordell, G. A.; Beecher, C. W. W.; Fong, H. H. S.; Kinghom, A. D.; Brown, D. M.; Wani, M. C.; Wall, M. E.; Hieken, T. J.; Das Gupta, T. K.; Pezzuto, J. M. (1995) Discovery of betulinic acid as a selective inhibitor of human melanoma that functions by induction of apoptosis. *Natural Medicine*. 1, 1046-1051.

¹⁵² http://dtp.nci.nih.gov/docs/raid/raid_index.html

¹⁵³ Lopenen, J., Lempa, K., Ossipov, V., Kozlov, M.V., Girs, A., Hangasmaa, K., Haukioja, E., Pihlaja, K. (2001) Patterns in content of phenolic compounds in leaves of mountain birches along a strong pollution gradient. *Chemosphere*. 45: 291-301.

¹⁵⁴ Kuokkanen, K., Julkunen-Tiito, R., Keinanen, M., Niemela, P., Tahvanainen, J. (2001) The effect of elevated CO₂ and temperature on the secondary chemistry of *Betula pendula* seedlings. *Trees*. 15:378-384

Comme exemple, deux études sur le bouleau jaune (*Betula alleghanensis*) ont permis de quantifier les variations de la composition chimique des feuilles (en polymères et polyphénols) en fonction de la saison^{155,156}. A partir des feuilles de bouleau jaune ont ainsi été isolés plusieurs composés phénoliques (Tab. 14).

Tableau 14 Teneurs en quelques polyphénols dans les feuilles du bouleau jaune¹⁵⁷.

Composés phénoliques	Teneur (mg/g) de feuillage sec
(+)-catéchine	4,8
acide 3-cafféoylquinique	0,56
acide 3-coumaroylquinique	2,3
Quercétine-3-arabinopyranoside	0,27
Kaempferol-3-rhamnoside	0,33
Kaempferol-O-glycoside	0,72
Kaempferol-O-glycoside	0,51
Kaempferol-O-glycoside	6,0
Kaempferol-O-glycoside	7,9
Kaempferol-O-glycoside	0,89
Kaempferol-O-glycoside	0,53
Apigenin dérivés 1	0,23

Certains polyphénols sont synthétisés par les végétaux pour résister aux herbivores, aux mammifères et aux microorganismes. Par exemple, le platyphylloside, une molécule phénolique isolée dans plusieurs essences du genre *Betula*, possède un effet inhibiteur sur la digestibilité chez ruminants *in vitro*¹⁵⁸. Ce composé a par ailleurs été isolé par extraction au méthanol de l'écorce interne du bouleau blanc, *Betula papyrifera* en compagnie de dix

¹⁵⁵ Ricklefs R.E. and Matthew K.K. (1982) Chemical characteristics of the foliage of some deciduous trees in southeastern Ontario. Canadian Journal of Botany 60(10): 2037-2045.

¹⁵⁶ Hoyle M.C.(1969) Variation in Content of Microelements in Yellow Birch Foliage Due to Season and Soil Drainage, Soil Science Society of America Journal 33: 458-459.

¹⁵⁷ Keinänen, M., R Julkunen-Tiitto, M., Rousi, J., Tahvanainen, J. (1999) Taxonomic implications of phenolic variation in leaves of birch (*Betula* L.) species. Biochemical Systematics and Ecology. 27: 243-254

¹⁵⁸ Sunnerhein, K., Palo, T., Theander, O et Knutsson, P.G. (1988) Chemical defense in birch. Platyphylloside: A phenol from *Betula pendula* inhibiting digestibility. Journal of Chemical Ecology. 14 (2): 549-559.

polyphénols¹⁵⁹ tels que des glycosides diarylheptanoïdes, des glycosides phénoliques et des lignanes (composés communs au genre *Betula*). L'activité anticancer (vs cancer du poumon et cancer du côlon) de chaque composé a été mesurée ; les auteurs ont alors fait la preuve du fort potentiel de l'extrait méthanolique de l'écorce interne de bouleau blanc, ceci étant dû notamment au polyphénol papyrifoside A isolé pour la première fois dans cette étude. Parmi les polyphénols communs au genre *Betula*, citons la (+)-catéchine, antioxydant reconnu du thé vert, le salidroside, connu pour ses propriétés anxiolytiques, la (+)-rhododendrine, glycoside du rhododendrol et enfin le plathyphylloside. Le rhododendrol a d'ailleurs été isolé dès 1978 dans l'extrait hydrolysé de l'écorce de bouleau jaune, *Betula alleghanensis*¹⁶⁰. Une teneur en rhododendrine de 0.01% par rapport à la masse sèche d'écorce a été subséquemment déterminée par ce même auteur¹⁶¹ en 1997. Une autre étude a également permis de déterminer la teneur en mg/g d'extrait pour quelques polyphénols communs isolés dans les tiges de *Betula alleghanensis*. Les résultats de cette étude apparaissent au tableau 15.

Tableau 15 Teneurs en polyphénols présents dans les tiges du bouleau jaune¹⁶².

Composés phénoliques	Teneur (mg/g) de ramilles sèche
(+)-catéchine	1.08
Salidroside	3.09
Catéchine isomère	0,04
Tanins condensés	20.0

L'identification de trois molécules phénoliques dans les extraits lipophiles du bois de tronc et des sciures de *Betula alleghaniensis* a été réalisée par Lavoie et Stevanovic (2006)¹⁶³. Cependant l'emploi par ces auteurs d'un solvant lipophile – et non hydrophile - a favorisé l'extraction de composés terpéniques. On retrouve les polyphénols isolés dans cette étude dans le tableau 16.

¹⁵⁹ Mshvildadze V., Legault J., Lavoie S., Gauthier C. and Pichette A. (2007) Anticancer diarylheptanoid glycosides from the inner bark of *Betula papyrifera*. *Phytochemistry* 68(20): 2531-2536.

¹⁶⁰ Santamour, F.S., Vettel, H.E. (1978) The distribution of rhododendrin in birch (*Betula*) species. *Biochemical Systematics and Ecology* 6:107-108

¹⁶¹ Santamour, F.S., Lundgren, L.N. (1997) Rhododendrin in *Betula*: a reappraisal. *Biochemical Systematics and Ecology* 25 (4):335-341

¹⁶² Julkunen-Tiito, R., Rousi, M., Bryant, J., Sorsa, S., Keinanen, M., Sikanen, H. (1996) Chemical diversity of several Betulaceae species: comparison of phenolics and terpenoids in northern birch stems. *Trees*: 11: 16-22

¹⁶³ Lavoie, J.M., Stevanovic, T. (2006) Yield and composition of lipophylic extracts of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) as a function of wood age and aging under industrial conditions. *Holzforschung*. 60: 184-189.

Tableau 16 Teneurs en polyphénols dans le bois et la sciure du bouleau jaune

Composé phénolique	Masse moléculaire	Indice de similarité	Bois du tronc	Sciure
			Concentration moyenne (µg/g)	Concentration moyenne (µg/g)
Syringaldehyde	182.17	0,92	4,1	2,3
Salidroside	300.30	0,81	51	84,3
Acide chlorogénique	354.31	0,91	18,9	11

Il est souhaitable de rappeler que, si on souhaite cibler un extrait riche en polyphénols, des solvants polaires tels que le méthanol, l'éthanol ou l'eau sont préférables.

Concernant le bouleau gris (*Betula populifolia*), aucune étude phytochimique n'est à ce jour disponible.

5.1.1.2.5. Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

Les recherches menées au CRB par l'équipe de la Pr. Tatjana Stevanovic ont porté sur les extractibles des divers tissus de l'espèce *Betula alleghanensis*. Un nombre d'articles scientifiques ont par ailleurs été publiés ces dernières années.

En 2005, Lavoie et Stevanovic ont étudié la composition variable de l'extrait à l'hexane des feuilles de bouleau jaune (*Betula alleghanensis*) en fonction de la saison et du site géographique de la récolte. Ce travail visait à préciser les conditions optimales de récolte, c'est-à-dire celles qui permettent d'obtenir la plus haute concentration en composés bioactifs. Pas moins de 14 extractibles lipophiles ont été identifiés, dont des dérivés de triterpènes (lupanes) incluant l'aldéhyde bétulonique¹⁶⁴. Les auteurs ont étudié la variation du taux d'extractibles en fonction du temps ainsi que la variation de concentration pour chaque composé.

¹⁶⁴ Lavoie J.M. and Stevanovic T. (2005) Variation of chemical composition of the lipophilic extracts from yellow birch (*Betula alleghaniensis*) foliage. Journal of Agriculture and Food Chemistry 53(12): 4747-4756.

En 2009, une étude menée par P.N. Diouf de l'équipe de Pr Stevanovic sur les écorces externes et internes, le bois, les feuilles et les ramilles de bouleau jaune (*Betula alleghanensis*) montre que les extraits éthanoliques de bouleau jaune obtenus par macération et par ultrasons possèdent de fortes propriétés anti-inflammatoires¹⁶⁵. Les résultats confirment également que les extraits obtenus par traitement ultrasonique (technique d'extraction développée au Laboratoire de Chimie du Bois et faisant l'objet d'un dépôt de brevet) s'avèrent moins toxiques sur les cellules que les extraits obtenus par macération. Cela met donc en évidence que dans le cas de cet extrait l'utilisation de la méthode d'extraction assistée aux ultrasons est favorable. D'autre part, l'auteur réitère l'avantage d'utiliser l'éthanol comme solvant afin d'extraire à la fois les composés terpéniques bioactifs ainsi que les polyphénols. Les composés isolés lors de cette étude sont présentés aux tableaux 17 et 18.

Tableau 17 Tableau issu de l'article de Diouf et al. (2009)¹⁶⁶ donnant la composition en dérivés terpéniques dans les divers tissus du bouleau jaune (*Betula alleghanensis*).

Compound	RT (min)	Tissue	Amount (mg/g o.d. extract)	
			MAE	UAE
Squalene	10.42	Foliage	0.7 ± 0.0 ^a	0.6 ± 0.0 ^b
β-Amyrin	15.17	Foliage	1.1 ± 0.3 ^a	1.4 ± 0.1 ^a
Lupenone	15.29	Outer bark	4.1 ± 0.2 ^a	4.0 ± 0.0 ^a
		Twigs	0.5 ± 0.1 ^a	0.5 ± 0.1 ^a
Lupeol	15.56	Inner bark	3.5 ± 0.1 ^a	3.6 ± 0.1 ^a
		Outer bark	92.1 ± 2.7 ^a	83.1 ± 0.4 ^b
		Twigs	12.9 ± 1.3 ^a	9.2 ± 0.2 ^a
Betulonic acid	17.80	Wood	50.5 ± 0.3 ^a	48.3 ± 0.8 ^a
		Twigs	2.4 ± 0.2 ^a	1.1 ± 0.1 ^b
Non-identified triterpene	18.11	Inner bark	4.2 ± 0.1 ^a	5.0 ± 0.1 ^b
		Outer bark	45.9 ± 2.0 ^a	57.6 ± 0.4 ^b
		Twigs	0.2 ± 0.1 ^a	0.6 ± 0.0 ^b
Betulone	18.80	Outer bark	26.1 ± 0.6 ^a	25.1 ± 0.4 ^a
		Inner bark	4.8 ± 0.1 ^a	5.6 ± 0.3 ^a
Betulin	19.14	Outer bark	10.2 ± 0.3 ^a	9.2 ± 0.1 ^b
		Twigs	9.9 ± 0.3 ^a	4.2 ± 0.1 ^b
		Wood	19.0 ± 0.4 ^a	19.8 ± 1.1 ^a
Acetyl methyl betulinate	20.88	Wood	19.0 ± 0.4 ^a	19.8 ± 1.1 ^a
		Twig	2.6 ± 0.4 ^{na}	-

Means with different letters in the same row indicate significantly different at $p < 0.05$ (Student's *t*-test).
na: not applicable.

¹⁶⁵ Diouf P.N., Stevanovic T. and Boutin Y. (2009) The effect of extraction process on polyphenol content, triterpene composition and bioactivity of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) extracts. *Industrial Crops and Products* 30(2): 297-303.

¹⁶⁶ Diouf P.N., Stevanovic T. and Boutin Y. (2009) The effect of extraction process on polyphenol content, triterpene composition and bioactivity of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) extracts. *Industrial Crops and Products* 30(2): 297-303.

Tableau 18 Tableau issu de l'article de Diouf et al. (2009)¹⁶⁷ donnant la teneur en phénols totaux et en flavonoïdes dans les divers tissus du bouleau jaune (*Betula alleghanensis*).

Tissue	TP	TFlav
	MAE	
Twigs	58.3 ± 1.5 ^a	5.7 ± 0.2 ^a
Wood	240.1 ± 6.8 ^c	15.0 ± 1.4 ^b
Foliage	70.2 ± 2.5 ^a	45.1 ± 0.5 ^d
Inner bark	313.1 ± 18.0 ^e	11.2 ± 0.2 ^{cf}
Outer bark	170.2 ± 3.0 ^f	10.6 ± 0.2 ^f
	UAE	
Twigs	87.8 ± 1.3 ^b	5.4 ± 0.2 ^a
Wood	205.2 ± 4.7 ^d	11.8 ± 0.4 ^c
Foliage	68.2 ± 2.9 ^a	43.0 ± 2.1 ^e
Inner bark	303.1 ± 10.2 ^e	10.1 ± 0.3 ^{cf}
Outer bark	172.3 ± 1.5 ^f	10.0 ± 0.1 ^f

Une étude corollaire effectuée par Martha-E. Garcia Pérez sur les extractibles de bouleau jaune a réussi à démontrer la capacité antioxydante des extraits aqueux des ramilles¹⁶⁸.

Des travaux additionnels sur cette essence se poursuivent actuellement au sein du laboratoire du Pr. Stevanovic.

¹⁶⁷ Diouf P.N., Stevanovic T. and Boutin Y. (2009) The effect of extraction process on polyphenol content, triterpene composition and bioactivity of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) extracts. *Industrial Crops and Products* 30(2): 297-303.

¹⁶⁸ Martha-Estrella G.P., Niokhor D.P. and Stevanovic T. (2008) Comparative study of antioxidant capacity of yellow birch twigs extracts at ambient and high temperatures. *Food Chemistry* 107(1): 344-351.

5.1.1.3. Le Peuplier : genre *Populus*

5.1.1.3.1. Les diverses espèces présentes au Canada



Figure 17 : Photo d'un peuplier faux-tremble,
source : <http://www.cs-renelevesque.qc.ca/primaire/arbres/peuplier.html>

Au Canada, on compte 13 espèces de peupliers dont 4 ont été introduites sur le territoire (peupliers blanc, de Caroline, de Simon, noir d'Italie).

- ✓ Peuplier à feuilles acuminées (*Populus xacuminata*)
- ✓ Peuplier à feuilles étroites (*Populus angustifolia*)
- ✓ Peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata*)
- ✓ Peuplier baumier (*Populus balsamifera*)
- ✓ Peuplier blanc (*Populus alba*)
- ✓ Peuplier de Caroline (*Populus xcanadensis*)
- ✓ Peuplier de l'Ouest (*Populus trichocarpa*)
- ✓ Peuplier de Simon (*Populus simonii*)
- ✓ Peuplier deltoïde (*Populus deltoides ssp. deltoides*)
- ✓ Peuplier deltoïde de l'Ouest (*Populus deltoides ssp. monilifera*)
- ✓ Peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*)
- ✓ Peuplier hybride de Jack (*Populus xjackii*)
- ✓ Peuplier noir d'Italie (*Populus nigra cv. Italica*)

Parmi ces essences, le peuplier faux-tremble que l'on retrouve dans la forêt boréale est la plus commercialisée au Québec¹⁶⁹ et la plus largement répandue en Amérique du Nord ; en effet cette essence pousse dans toutes les régions forestières. Le peuplier baumier est fréquemment utilisé comme arbre d'alignement (brise-vent) et d'ornement. Au Québec, on note quatre

¹⁶⁹ Bouchard M., Douville G., Dupuis J., Boudreault A. (2008) Profil des produits forestiers. Première transformation. Bois de sciage de Peuplier faux-tremble. Centre de Recherche Industrielle Québec. Ministère des Ressources Naturelles et de la faune, Québec.

espèces de peupliers : baumier, faux-tremble, deltoïde et à grandes dents. Le peuplier deltoïde est parmi les plus grands qui poussent chez nous. On le rencontre surtout au bord des grands cours d'eau dans la vallée du Saint-Laurent. Une grande variété d'oiseaux et d'animaux se nourrissent des bourgeons, des rameaux et de l'écorce du peuplier. Ses diverses variétés représentent 8,3 % de toutes les essences forestières marchandes du Québec. Plusieurs variétés améliorées ou hybrides offrant d'excellents rendements en zone boréale sont issues de croisements génétiques. Certains clones de peupliers hybrides permettent de bonifier les caractéristiques de cette essence : les principaux avantages observés chez ces peupliers hybrides sont une meilleure densité du bois et une teneur en humidité plus élevée. Les propriétés physiques et mécaniques des panneaux de lamelles orientées fabriqués à partir de peupliers hybrides, par exemple, se sont généralement révélées supérieures à celles des panneaux à base de peupliers naturels. Toutefois, comparativement au peuplier faux-tremble, on n'observe pas d'amélioration majeure des sciages des peupliers hybrides, sauf possiblement au séchage.

Notre étude portera plus particulièrement sur le peuplier faux-tremble et le peuplier baumier.

5.1.1.3.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière

Peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*)^{170, 171}

Cette essence s'adapte à une grande variété de sites. L'arbre atteint une hauteur moyenne de 16 à 20 m, mais peut aller jusqu'à 35 m. Fortement utilisé dans l'industrie des produits du bois (pâte à papier, contreplaqué, allumettes...), son écorce est par ailleurs brûlée pour produire de l'énergie par l'industrie forestière canadienne. Le bois de réaction, appelé bois de tension chez les feuillus, y est très présent. Il occasionne pour cette essence un retrait longitudinal de trois à cinq fois supérieur à celui des autres feuillus. Ces contraintes causent au bois plusieurs types de déformations, principalement le voilement et la torsion. Le développement des scieries qui utilisent le tremble s'est accéléré depuis une dizaine d'années. Autrefois on sciait peu le peuplier faux-tremble, considéré alors comme une essence ayant peu de potentiel. Le développement technologique et le besoin accru de fibre à bas prix ont fait passer le faux-tremble à une essence recherchée aujourd'hui par les industries des

¹⁷⁰ Bouchard M., Douville G., Dupuis J.F., Boudreault A. (2008) Profil des produits forestiers. Première transformation. Bois de sciage de Peuplier faux-tremble. Centre de Recherche Industrielle Québec. Ministère des Ressources Naturelles et de la faune, Québec.

¹⁷¹ Dupuis J.F. (2009) Détermination du potentiel de croissance du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) à l'échelle de l'unité d'aménagement forestier en Haute-Mauricie, Québec, Canada. Mémoire de Maîtrise en géographie. Université du Québec, Montréal.

panneaux de lamelles orientées, des pâtes et papiers et des composants de palettes. Le développement de produits fabriqués à partir des peupliers est appelé à s'accroître, en raison de l'accroissement prévu des volumes issus de plantations d'arbres à croissance rapide. Au cours des prochaines années, l'industrie poursuivra ses efforts de valorisation des sciages de peupliers par le développement des produits à valeur ajoutée. Malgré le fait que le marché des palettes et des composants de palettes constitue le principal débouché de cette essence, les deuxième et troisième transformations demeurent incontournables, car elles permettront d'améliorer la rentabilité de l'exploitation. Ce constat est encore plus applicable à l'entreprise qui réalise uniquement des sciages de peuplier faux-tremble. Une telle entreprise doit trouver preneur pour les sous-produits (écorces, copeaux, sciures et rabotures) au meilleur prix possible afin d'augmenter sa rentabilité.

Une association du nom de Valoritremble s'est formée en 2007 avec comme but, comme son nom l'indique, de valoriser l'utilisation du tremble. Les représentants de ce regroupement de scieries (NBG, Massé d'Amours, Scierie St-Fabien, Bois CFM, Serdan, Damabois et Multibois) se rencontrent occasionnellement pour échanger et trouver des marchés pour leur production.

Peuplier baumier (*Populus balsamifera*)¹⁷²

Au Canada, le peuplier baumier est la deuxième plus importante essence de l'espèce après le faux-tremble. Communément appelé liard, le peuplier baumier est une essence à croissance rapide dont le potentiel est très peu considéré au Québec. Il se distingue des autres peupliers par son odeur de baume et ses bourgeons collants et résineux. Le désintérêt de l'industrie québécoise pour cette essence s'explique principalement par la faible rigidité de son bois, mais aussi par une panoplie de défauts, comme la pourriture et une teneur élevée en humidité qui augmentent ses coûts de transformation. Pour favoriser une meilleure utilisation de cette ressource, FPInnovations, division Forintek a réalisé une étude afin de mieux comprendre les interactions entre les caractéristiques du bois de cette essence et la qualité du site, l'âge et l'emplacement de la bille dans l'arbre. Les résultats indiquent que la majorité des caractéristiques du bois et sa croissance dépendent fortement de la qualité du site. Le bois de liard provenant d'un site favorable peut donc être utilisé pour la fabrication d'une multitude de produits et certaines entreprises en Abitibi-Témiscamingue en ont déjà fait la preuve. Selon les données compilées du dernier inventaire forestier décennal, la région de l'Abitibi-

¹⁷² Gaussiran S. et Boileau E. (2007) Le liard...Une essence qui gagne à être connue. Le couvert boréal. Partenariat Innovation Forêt, Québec.

Témiscamingue (région 08) compte un volume sur pied d'environ 65 millions m³ en bois de peuplier. Parmi les trois espèces de peuplier présentes sur ce territoire, le liard représente un peu plus de 1 million m³, soit 1,6 % du volume total en peuplier (Tab. 19).

Tableau 19 Volumes en peupliers dans la région 08 (communication de Gaussiran et Boileau, 2007)

Essence	Volume sur pied (m ³)	Proportion (%)
Peuplier baumier (PEB)	1 054 828	1,6
Peuplier à grandes dents (PEG)	4 914 652	7,6
Peuplier faux-tremble (PET)	59 040 111	90,8
Total	65 009 590	100,0
Source : Bureau du Forestier en chef (division nord-ouest)		

5.1.1.3.3. Utilisations traditionnelles

Le peuplier est dit « diurétique, éliminateur de l'acide urique, antiputride urinaire, aseptisant et fluidifiant des sécrétions bronchiques, ainsi que tonique »^{173,174,175,176}.

Le peuplier faux-tremble était utilisé par les Premières Nations comme vermifuge sous forme d'un mélange d'écorce pulvérisée et de sucre¹⁷⁷. On a apparemment employé cette écorce, et parfois les feuilles, pour le traitement des fièvres. Les feuilles du peuplier faux-tremble étaient appliquées jadis sur les coupures et les plaies ulcérées. Le peuple baumier et les autres essences appartiennent à la même famille botanique que les saules (Salicacées), d'où leur haute teneur en salicylates. Lors de l'ingestion des bourgeons, les salicylates se transforment en acide salicylique à l'état naissant (famille de l'aspirine), d'où leur action antidouleur. En Amérique, ce sont surtout les bourgeons du peuplier baumier - à un moindre degré, ceux du peuplier deltoïde - qui ont servi en médecine, notamment pour diverses préparations dont le sirop composé de pin blanc, ainsi que pour la confection d'onguents et de pansements. On s'en est également servi pour soigner les douleurs arthritiques ou rhumatismales. Le vin de bourgeons de peuplier est un incontournable tonique du printemps. Dans la tradition herboriste américaine, l'écorce de diverses espèces de peupliers a été utilisée dans des formulations destinées aux femmes souffrant de troubles menstruels. Au printemps et au

¹⁷³ <http://www.pfaf.org/database/plants>

¹⁷⁴ <http://earthnotes.tripod.com/poplar.htm>

¹⁷⁵ <http://www.manataka.org/page52.html>

¹⁷⁶ http://www.henriettesherbal.com/eclectic/cook/POPULUS_TREMULOIDES.htm

¹⁷⁷ Ritch-Krc E.M., Thomas S., Turner N.J. and Towers G.H.N. (1996) Carrier herbal medicine: Traditional and contemporary plant use. *Journal of Ethnopharmacology* 52(2): 85-94.

début de l'été, l'écorce interne du peuplier baumier est épaisse, sucrée et juteuse, si bien qu'elle était régulièrement consommée par les Amérindiens Ojibwa¹⁷⁸. On la préférait à toute autre, et on n'hésitait pas à la manger sur place. Les plus généreux rapportaient les surplus d'écorce au campement pour en faire un type de dessert en la mélangeant à la graisse de poisson-chandelle ou à une autre huile. Sucrée, elle se détériore rapidement par fermentation, ce qui constitue par contre un avantage si l'on désire en tirer une boisson aux propriétés enivrantes. En Europe, on rapporte l'utilisation d'un extrait liquide des feuilles du *P. tremula* (très proche de notre faux-tremble) pour soulager l'inflammation accompagnant l'hyperplasie de la prostate¹⁷⁹. Cette activité serait attribuable aux glucosides de type salicine que renferment les feuilles.

5.1.1.3.4. Les extractibles connus des peupliers du Québec et leurs propriétés biologiques

A ce jour plusieurs études ont été menées sur le genre *Populus* et quelques analyses de composition chimique pour divers tissus du peuplier faux-tremble et du peuplier baumier sont disponibles. Cependant, on note de nouveau que les travaux concernant la nature précise des extractibles présents dans ces essences sont encore peu nombreux. Ces dernières ont intéressé les chercheurs de par leurs vertus et leur utilisation médicinale par les premières Nations. D'après Arnason, parmi le genre *Populus*, le peuplier baumier mérite une mention spéciale à cause des applications thérapeutiques de ses extraits¹⁸⁰. On y a par ailleurs isolé des composés polyphénoliques ayant des propriétés analgésiques (salicine, acide o-pyrocatechique).

L'écorce du peuplier faux-tremble a été le sujet de plusieurs études entre 1950 et 1970^{181,182}. A cette époque, l'analyse de la composition phénolique des extraits aqueux d'écorces de peuplier faux-tremble a permis de confirmer la présence de phénylglycosides tels que la salicine, la trémuloidine, et la salireposide¹⁸³. En plus de ces composés, Pearl et al. ont noté la présence de divers glucosides dans l'extrait aqueux d'écorce de peuplier faux-tremble tels que

¹⁷⁸ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T., (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 59: 2189-2325.

¹⁷⁹ Buck A.C. (1996) Phytotherapy for the prostate. *British Journal of Urology* 78(3): 325-336.

¹⁸⁰ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 59: 2189-2325.

¹⁸¹ Faber H.B. Jr (1960) The methanol extractable aromatic materials in the inner bark of *P. tremuloides*. *Tappi* 43:406-413.

¹⁸² Pearl I.A., Darling S.F. (1971) Studies on barks of family of salicaceae. 27. Hot water phenolic extractives of bark and leaves of diploid *Populus tremuloides*. *Phytochemistry* 10:483-484.

¹⁸³ Pearl I.A., Darling S.F., De Haas H, Loving B.A., Scott D.A., Turley R.H., Werth R.E. (1961) Preliminary evaluation for glycosides of barks of several species of the genus *Populus*. *Tappi* 44:475-478.

l'alcool salicylique, l'alcool gentsylique (composé utilisé en pharmaceutique pour stabiliser des peptides et des protéines radiomarqués), l'acide benzoïque et plusieurs sucres simples. Plus récemment, des travaux menés sur les extraits du bois de cœur de peuplier faux-tremble, analysés par chromatographie en phase gazeuse, ont permis d'identifier une quarantaine de composés¹⁸⁴. Le tableau 21 donne la nature des diverses classes d'extractibles lipophiles identifiés par GC-MS. On constate la présence de triterpénoïdes et de polyphénols, tels que l'antioxydant de référence α -tocophérol et plusieurs flavonoïdes.

¹⁸⁴ Fernandez M.P., Watson P.A. and Breuil C. (2001) Gas chromatography-mass spectrometry method for the simultaneous determination of wood extractive compounds in quaking aspen. *Journal of Chromatography A* 922(1-2): 225-233.

Tableau 20 Nature de diverses classes d'extractibles lipophiles identifiés par GC-MS dans le bois de cœur du peuplier faux-tremble (extrait de l'article de Fernandez, 2001).

Compound	Retention time (min)	Identification method/MS fragments with relative intensities	RF	Amount (mg/kg fd wood) ^a
Monoaryl phenolics				
Benzoic acid	6.87	AS/105(100), 122(79)	2.3	25
1-Ethyl-4-hydroxybenzene	6.92	NIST/107(100), 122(59)	2.3	7.3
3-(2-Hydroxyphenyl)-2-propenoic acid	7.82	NIST/91(100), 120(89)	2.3	7.6
2-Hydroxybenzyl alcohol	8.53	NIST/78(100), 106(64)	2.3	6.2
4-Hydroxy-2-methylacetophenone	9.27	NIST/150(93), 135(100), 107(73)	2.3	3.6
4-Hydroxybenzoic acid	11.88	NIST/121(100), 138(73)	2.3	44
3-(4-Hydroxyphenyl) propanoic acid	13.33	NIST/107(100), 166(40)	2.3	9.4
3-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-propen-1-ol	14.62	NIST/180(78), 137(100)	2.3	1.1·10 ²
3-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-propenal	14.75	MSF/178(100), 161(39), 147(53), 135(67), 107(62), 77(61)	2.3	14
3-(4-Hydroxyphenyl)-2-propenoic acid	15.08	NIST/164(100), 147(61)	2.3	27
4-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-propenoic acid	15.95	NIST/194(100), 133(38)	2.3	3.8
4-(3-Hydroxy-1-propenyl)-2,6-dimethoxyphenol	17.25	MSF/210(100), 193(18), 182(41), 167(84), 154(27), 77(23)	2.3	68
3-(4-Hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-2-propen-1-ol	17.32	NIST/208(100), 165(67)	2.3	15
Fatty acids/alcohols				
9-Oxononanoic acid	11.62	NIST/155(8), 144(6), 83(100)	1	1.9·10 ²
Hexadecanoic acid	16.60	AS/256(17), 129(89), 73(100)	1	4.2·10 ²
(Z,Z)-9,12-Octadecadienoic acid	18.25	AS/280(3), 109(25), 67(100)	1	1.5·10 ³
Octadecanoic acid	18.47	AS/284(14), 129(77), 55(100)	1	70
Eicosanoic acid	20.20	AS/312(28), 269(34), 129(81), 57(100)	1	52
Docosanoic acid	21.82	AS/340(35), 297(35), 87(100)	1	71
Tetracosanoic acid	23.35	MSF/368(33), 325(22), 269(25), 185(35), 129(71), 55(100)	1	84
1-Docosanol	24.23	NIST/111(53), 97(100), 83(79)	1	70
Flavonoids				
4',5-Dihydroxy-7-methoxyflavanone	23.83	NIST/285(100), 167(79)	1.65	2.6·10 ²
4',5,7-Trihydroxyflavanone	24.48	AS/271(100), 153(75)	1.65	3.7·10 ²
3,5,7-Trihydroxy-4'-methoxyflavone	25.69	NIST/300(100), 257(30)	1.65	61
3,4',5,7-Tetrahydroxyflavone	26.42	NIST/286(100), 229(14)	1.65	60
Sterols/triterpene alcohols				
Stigmast-5-en-3β-ol	27.10	AS/397(76), 213(100)	0.98	1.4·10 ³
Oleanen-3β-ol	27.32	NIST/218(33), 203(100)	0.98	88
Tirucalla-7,24-diene-3β-ol	27.35	Other ^b /412(24), 394(100), 241(38)	0.98	1.2·10 ²
Cycloart-24-en-3β-ol	27.58	NIST/426(17), 408(26), 394(100)	0.98	1.4·10 ²
12-Ursen-3β-ol	27.65	AS/426(8), 218(100), 203(80)	0.98	1.7·10 ²
24-Methylcycloart-24,(24 ¹)-en-3β-ol	27.90	NIST/422(82), 408(89), 407(100)	0.98	1.9·10 ²
Citrostadienol	27.97	NIST/328(13), 285(100)	0.98	68
Steryl/triterpene esters				
Stigmast-5-en-3β-yl acetate	25.60	NIST/396(100), 382(36)	4.0	2.7·10 ²
Tirucalla-7,24-diene-3β-yl hexadecanoate	39.55	Ref. [13]/394(100), 241(22)	4.0	1.7·10 ³
12-Oleanen-3β-yl hexadecanoate	40.08	Ref. [13]/218(40), 203(100)	4.0	3.4·10 ²
20(29)-Lupen-3β-yl hexadecanoate	40.82	Ref. [13]/410(26), 203(100)	4.0	4.4·10 ²
12-Ursen-3β-yl hexadecanoate	41.40	Ref. [13]/218(100), 203(62)	4.0	7.4·10 ²
Tirucalla-7,24-diene-3β-yl octadecanoate	43.70	Ref. [13]/394(100), 241(18), 109(25)	4.0	7.5·10 ²
12-Oleanen-3β-yl octadecanoate	44.45	Ref. [13]/218(38), 203(100)	4.0	88
20(29)-Lupen-3β-yl octadecanoate	45.62	Ref. [13]/410(20), 392(19), 203(100)	4.0	34
12-Ursen-3β-yl octadecanoate	46.20	Ref. [13]/218(100), 203(82)	4.0	1.6·10 ²
Tirucalla-7,24-diene-3β-yl eicosanoate	49.50	Ref. [13]/218(100), 203(82)	4.0	1.4·10 ²
Lipids				
α-Tocopherol	25.82	NIST/431(100), 165(77)	0.98	37
(9Z,12Z)-Glycerol tri-9,12-octadecadienoate	65.07	AS/600(100), 340(32)	4.2	7.7·10 ²

^a Average of 50 sampled 10 mm increment cores.

^b Mass spectral match with sterol derived from the base hydrolysate of corresponding steryl ester identified in Serreqi et al. [13]; AS=authentic standard; MSF=mass spectral fragmentography; NIST=National Institute of Standards and Technology (mass spectral library).

L'activité antioxydante (antiradicalaire) des extraits (bourgeons, racines et écorces) de *Populus tremuloides* et *balsimifera* ainsi que leur action antidiabétique ont été explorés par McCune qui a démontré que les extraits d'écorce affichaient une meilleure capacité antioxydante/antiradicalaire que les bourgeons de feuilles normalement utilisés dans les

pratiques amérindiennes^{185,186}. La propolis est une substance résineuse qui peut être exsudée par les bourgeons de plusieurs espèces végétales et certaines font partie du genre *Populus*. Cette résine, collectée par plusieurs types d'abeilles, contient plus de 300 constituants chimiques. Ce sont d'ailleurs des composés phénoliques et des terpènes qui seraient responsables de ses activités biologiques (antibactérienne, antivirale, antifongique etc.)^{187,188}. Dans le cas de la propolis exsudée par le peuplier faux-tremble, le polyphénol, chrysophanol a pu être identifié. Dans une étude sur l'érable rouge (*Acer rubrum*), le caractère appétant des branches de peuplier faux-tremble chez le castor a été pris pour comparaison : cette appétence serait due à la présence de la salicine et de la trémuloïdine¹⁸⁹. Par ailleurs, une autre étude sur l'activité insecticide des extraits de feuilles d'érable rouge sur les chenilles (*Malacosoma disstria* Hubner) prend également pour comparaison le caractère appétant des feuilles de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*)¹⁹⁰. Enfin, des travaux sur les extraits de feuilles de cette essence ont fait la preuve de propriétés anti-inflammatoires dues à la présence de glycosides de flavonols et de dérivés de salicine¹⁹¹.

Quant au peuplier baumier, ce sont également dans les bourgeons que plusieurs composés ont pu être identifiés notamment des sesquiterpènes et des acides phénoliques.¹⁹² Une étude récente sur de tels extraits a permis de déterminer la concentration nécessaire pour inhiber 50% des cellules tumorales lors d'un traitement du cancer¹⁹³. Les extraits à l'eau chaude des écorces de cette essence ont fait l'objet de deux études menées en 1968^{194,195}. La première a mené à l'identification de plusieurs composés polyphénoliques : salicine, alcool salicylique,

¹⁸⁵ McCune L.M. and Johns T. (2002) Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the Indigenous Peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology* 82(2-3): 197-205.

¹⁸⁶ McCune L.M. and Johns T. (2007) Antioxidant activity relates to plant part, life form and growing condition in some diabetes remedies. *Journal of Ethnopharmacology* 112(3): 461-469.

¹⁸⁷ Vardar-Unlu G., Silici S. and Ulu M., (2008) Composition and in vitro antimicrobial activity of *Populus* buds and poplar-type propolis. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24(7): 1011-1017.

¹⁸⁸ Silici S. and Kutluca S. (2005) Chemical composition and antibacterial activity of propolis collected by three different races of honeybees in the same region. *Journal of Ethnopharmacology* 99(1): 69-73.

¹⁸⁹ Müller-Schwarze D., Schulte B.A., Sun L., Müller-Schwarze A. and Müller-Schwarze C. (1994) Red maple (*Acer rubrum*) inhibits feeding by beaver (*Castor canadensis*). *Journal of Chemical Ecology* 20(8): 2021-2034.

¹⁹⁰ Abou-Zaid M.M., Helson B.V., Nozzolillo C. and Arnason J.T. (2001) Ethyl m-Digallate from Red Maple, *Acer rubrum* L., as the Major Resistance Factor to Forest Tent Caterpillar, *Malacosoma disstria* Hbn. *Journal of Chemical Ecology* 27(12): 2517-2527.

¹⁹¹ Albrecht M., Nahrstedt A., Luepke N.P., Theisen N.L. and Baron G. (1990) Anti-inflammatory activity of flavonol glycosides and salicin derivatives from the leaves of *Populus tremuloides*. *Planta Medica* 56(6): 660.

¹⁹² Isidorov VA, Vinogorova VT. (2003) GC-MS analysis of compounds extracted from buds of *Populus balsamifera* and *Populus nigra*. *Z Naturforsch* 58: 355-360.

¹⁹³ Mazzi E.A. and Soliman K.F.A. (2009) In vitro screening for the tumoricidal properties of international medicinal herbs. *Phytotherapy Research* 23(3): 385-398.

¹⁹⁴ Pearl I.A. and Darling S.F. (1968) Studies on the barks of the family salicaceae-xix. Continued studies on the hot water extractives of *Populus balsamifera* bark. *Phytochemistry* 7(10): 1851-1853.

¹⁹⁵ Pearl I.A. and Darling S.F. (1968) Studies on the barks of the family salicaceae-XX. Variations in the hot water extractives of *populus balsamifera* bark. *Phytochemistry* 7(10): 1855-1860.

pyrocatechol, 2,6-dimethoxy-p-benzoquinone, trichocarpine, salireposide, acide cinnamique et acide azélaïque. Dans la seconde étude, le trichoside et l'alcool gentsylique (également présents chez le peuplier faux-tremble) ont été identifiés dans les extraits d'écorce. Des travaux récents ont mis en évidence une faible activité antidiabétique des extraits éthanoliques du peuplier baumier - tissus non spécifiés - lors d'un screening de plusieurs plantes médicinales utilisées dans la tradition amérindienne Cree¹⁹⁶.

La présente revue de littérature ciblant les essences les plus commercialisées du genre *Populus* présentes au Québec démontre un potentiel indéniable des extraits en vue d'applications dans les secteurs pharmaceutique, alimentaire et cosmétique. Des recherches devront être menées pour systématiquement élucider la composition et les propriétés biologiques en particulier des écorces

5.1.1.3.5. Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

Les travaux du laboratoire sur les extractibles du genre *Populus* ont visé l'espèce *Populus tremuloides*. Un article récemment paru dans Wood Science and Technology par Diouf et al. démontre l'activité antioxydante de l'extrait aqueux d'écorces de cette essence¹⁹⁷. Les auteurs ont par ailleurs évalué diverses fractions polyphénoliques de cet extrait et ont démontré la forte capacité antioxydante non seulement de l'extrait brut mais également pour les fractions isolées, activité supérieure au BHT, un produit commercial synthétique. Les fractions les plus apolaires ont fait preuve des plus fortes activités antioxydantes. Via l'étude des teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes, les auteurs ont déterminé que cette activité est due à des polyphénols n'appartenant pas à la classe des flavonoïdes. Le tableau 22 présente les résultats des teneurs en composés phénoliques (i) dans l'extrait brut aqueux d'écorce de peuplier faux-tremble et (ii) dans les diverses fractions.

¹⁹⁶ Tam T.W., Liu R., Arnason J.T., Krantis A., Staines W.A., Haddad P.S. and Foster B.C. (2009) Actions of ethnobotanically selected Cree anti-diabetic plants on human cytochrome P450 isoforms and flavin-containing monooxygenase 3. *Journal of Ethnopharmacology* 126(1): 119-126.

¹⁹⁷ Diouf P.N., Stevanovic T. and Cloutier A. (2009) Antioxidant properties and polyphenol contents of trembling aspen bark extracts. *Wood Science and Technology* 43(5-6): 457-470.

Tableau 21 Teneur en phénols totaux dans l'extrait aqueux d'écorce de peuplier faux-tremble et ses diverses fractions (Diouf et al. 2009)

Extract/fractions	Yield (mg extract/g o.d. bark)	Total phenols (mg gallic acid/g extract)	Total flavonoids (mg quercetin/g extract)	Total flavanols (mg catechin/g extract)
CHWE	140.1 ± 6.0	113.5 ± 6.1	11.5 ± 0.2	10.2 ± 0.4
TBME	15.3 ± 0.7	218.0 ± 7.6	12.5 ± 0.2	18.3 ± 0.5
EtOAc	20.1 ± 0.9	159.9 ± 6.9	9.3 ± 0.0	9.7 ± 0.1
BuOH	28.3 ± 1.2	139.1 ± 5.4	10.0 ± 0.1	9.1 ± 0.3
H2O	76.3 ± 3.3	21.1 ± 0.2	9.9 ± 0.0	5.2 ± 0.1

CHWE crude hot water extract, *TBME* tert-butyl methyl ether fraction, *EtOAc* ethyl acetate fraction, *BuOH* butanolic fraction, *H2O* aqueous extract

5.1.1.4. Le chêne : genre *Quercus*

5.1.1.4.1. Les diverses espèces présentes au Canada



Figure 18 : Photo d'un chêne rouge (*Quercus rubra*)

Au Canada, 15 espèces de chêne ont été inventoriées et la plupart sont des essences indigènes. Citons toutefois quelques espèces introduites telles que le chêne châtaignier, le chêne écarlate ainsi que le chêne pédonculé, espèce largement répandue en Europe et aujourd'hui totalement naturalisée sur le territoire Canadien. Inversement le chêne rouge d'Amérique a été quant à lui introduit en Europe dans les années 1970-80 surtout à des fins de reboisement¹⁹⁸.

¹⁹⁸ Lanier L., Keller R., Kremer A. (1898) Le Chêne rouge (*Quercus rubra* L.) en France. Extrait de : The Silva of North America. Ed, SARGENT, USA.

- ✓ Chêne à gros fruits (*Quercus macrocarpa*)
- ✓ Chêne Bebb's (*Quercus bebbiana*)
- ✓ Chêne bicolore (*Quercus bicolor*)
- ✓ Chêne blanc (*Quercus alba*)
- ✓ Chêne châtaignier (*Quercus montana*)
- ✓ Chêne de Garry (*Quercus garryana*)
- ✓ Chêne de Shumard (*Quercus shumardii*)
- ✓ Chêne des marais (*Quercus palustris*)
- ✓ Chêne écarlate (*Quercus coccinea*)
- ✓ Chêne ellipsoïdal (*Quercus ellipsoidal*)
- ✓ Chêne jaune (*Quercus muehlenbergii*)
- ✓ Chêne nain (*Quercus prinoides*)
- ✓ Chêne noir (*Quercus velutina*)
- ✓ Chêne pédonculé (*Quercus robur*)
- ✓ Chêne rouge (*Quercus rubra*)

Parmi ces essences, le chêne rouge et le chêne blanc, arbres de la famille des Fagacées (même famille que le hêtre) sont les plus utilisées par l'industrie forestière du Québec. *Quercus rubra* se retrouve en trois variétés: *borealis* (chêne rouge d'Amérique), *rubra* et *ambigua*. Le *Quercus rubra* var *borealis* est la seule espèce de chêne dans la région urbaine de Québec. Les forêts de chêne ont autrefois été décimées pour la construction de bateaux destinés à la Reine d'Angleterre et pour la fabrication de parquets dans les maisons de la noblesse anglaise. De nos jours, quelques rares chênaies privées subsistent, surtout dans l'ouest et dans le sud du Québec loin des grands froids du nord. Par contre, on plante beaucoup de chênes depuis quelques décennies, offrant la possibilité de récolter de l'écorce vieille de quatre ou cinq ans.

5.1.1.4.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière

Chêne rouge (*Quercus rubra*)

Le chêne rouge, *Quercus rubra* var *borealis* présente un bois lourd et un grain serré, de couleur brun rougeâtre. Il est très utilisé dans la charpente, la tonnellerie (mais uniquement pour le stockage de denrées sèches) ainsi qu'en menuiserie et ébénisterie. Le bois de chêne rouge s'avère moins durable que celui de plusieurs essences européennes du même genre. Du fait de sa forte croissance juvénile, le chêne rouge d'Amérique est de plus en plus mis à profit pour le reboisement, mais la réussite de telles opérations suppose que soit bien connue son écologie d'introduction et en particulier ses facteurs limitants¹⁹⁹.

¹⁹⁹ Timbal J. (1990) Le chêne rouge d'Amérique. Ecologie et Facteurs limitants. Revue forestière française XLII

Chêne blanc (*Quercus alba*)

Le chêne blanc pousse dans le sud du Québec. Son bois dur et pesant, à grain serré et durable présente une couleur brun pâle et est employé en sculpture, et également en ébénisterie et en menuiserie. Dans le commerce, le bois de cette espèce est souvent confondu avec celui du chêne à gros fruits, et l'un et l'autre représentent les principaux chênes employés en construction maritime. Ce bois qui présente une bonne stabilité dimensionnelle est très employé dans la carrosserie, la fabrication d'instruments aratoires, la boiserie de luxe et le placage. Son élasticité remarquable se prête à des flexions de presque 90°. Certains pays tropicaux ont longtemps importé du port de Québec le chêne blanc (surtout *Q. macrocarpa*) provenant de la vallée du Richelieu. Il n'existe plus en quantités commerciales dans cette région²⁰⁰.

5.1.1.4.3. Utilisations traditionnelles

L'écorce interne du chêne, appelée « tan », était autrefois fort appréciée pour ses propriétés médicinales. Plusieurs documents - disponibles sur internet - qui exposent les vertus de l'écorce interne du chêne indiquent que les remèdes fabriqués étaient plus efficaces lorsqu'on utilisait de l'écorce de branches âgées de cinq à dix ans. En Europe, c'est l'écorce du chêne pédonculé, *Quercus robur*, qui était très utilisée tandis qu'en Amérique, les premières Nations utilisaient l'écorce de plusieurs espèces car il semblait que les différentes espèces de chêne présentes sur le territoire présentaient les mêmes propriétés. Les informations collectées par Arnason²⁰¹ sur l'utilisation traditionnelle des tissus de cette essence par les autochtones du Canada confirment que les Ojibwas utilisaient les décoctions ou les cataplasmes d'écorce interne de plusieurs essences (*Quercus alba*, *Quercus macrocarpa*, *Quercus rubra*, *Quercus muehlenbergii*) pour des applications dont la plupart se fondent sur le caractère astringent. En médecine contemporaine, des substances astringentes sont utilisées pour contrôler l'émission de sérum physiologique ou de sécrétions des muqueuses. Elles sont utilisées dans les cas d'hémorragie, de diarrhée ou d'ulcère gastro-duodéal. Des solutions modérément astringentes sont efficaces dans le traitement des lésions superficielles de la peau ou des piqûres d'insectes. Les personnes souffrant d'acné se voient recommander des produits astringents si elles ont

²⁰⁰<http://www.florelaurentienne.com>

²⁰¹ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Canadian Journal of Botany 59: 2189-2325.

une peau grasse. En effet, les composés astringents, en resserrant les tissus de la peau par effet vasoconstricteur, diminuent la sécrétion de sébum. Les données ethnopharmacologiques récupérées par Arnason démontrent qu'effectivement les Ojibwas utilisaient des extraits d'écorces de chêne pour traiter diarrhées, vomissements, hémorragies et maux de gorge. En application sur la peau, l'écorce interne soignait l'eczéma et diverses autres maladies cutanées²⁰² : généralement bien tolérée par la peau, elle ne provoque pas d'irritation. Ajoutons à ceci le traitement des inflammations de l'œil, des hémorroïdes, des engelures etc²⁰³. Appliquée à hautes doses quand la gangrène menaçait d'envahir un membre, on lui attribuait le pouvoir d'arrêter la progression de l'infection. En plus des utilisations traditionnelles communes à toutes les essences de chêne présentes au Canada, seuls l'écorce et le bois de *Quercus rubra* étaient utilisés par les Ojibwas pour les problèmes cardiaques²⁰⁴ alors que seule l'écorce de *Quercus alba* était préconisée par les Amérindiens également pour son caractère tonifiant²⁰⁵ des muscles et sur l'organisme en général.

5.1.1.4.4. Les extractibles connus des chênes du Québec et leurs propriétés biologiques

Plusieurs études sont répertoriées sur la composition en extractibles des essences du genre *Quercus* et encore une fois ce sont les essences Européennes telles que *Quercus robur* qui reviennent fréquemment.

Les tannins du bois de chêne sont responsables des changements de couleur et du goût durant le vieillissement du vin entreposés dans les fûts de chêne^{206,207}. Le taux d'extractibles du bois de chêne est très variable dépendamment de l'origine, l'espèce, l'environnement etc. Une comparaison des caractéristiques de différentes espèces de chêne en fabrication des fûts montre que le chêne blanc, *Quercus alba* est moins perméable et plus résistant que le chêne d'Europe, *Quercus robur*; toutefois le bois du chêne blanc contient moins de tannins

²⁰² Meletis C.D. and Wagner E. (2002) Natural remedies for promoting skin health. *Alternative and Complementary Therapies* 8(3): 186-190.

²⁰³ Neves J.M., Matos C., Moutinho C., Queiroz G. and Gomes L.R. (2009) Ethnopharmacological notes about ancient uses of medicinal plants in Tras-os-Montes (northern of Portugal). *Journal of Ethnopharmacology*. 124(2): 270-283.

²⁰⁴ McCune L.M. and Johns T. (2003) Symptom-specific antioxidant activity of boreal diabetes treatments. *Pharmaceutical Biology* 41(5): 362-370.

²⁰⁵ Moerman D. (1998) Native American ethnobotany. *Timber Press*, Oregon, 927pp.

²⁰⁶ Goncalves F.J. and Jordao A.M. (2009) Changes in antioxidant activity and the proanthocyanidin fraction of red wine aged in contact with portuguese (*Quercus Pyrenaica* Willd.) and American (*Quercus Alba* L.) oak wood chips. *Italian Journal of Food Science* 21(1): 51-64.

²⁰⁷ Del Alamo M., Bernal J.L. and Gomez-Cordoves C. (2000) Behavior of monosaccharides, phenolic compounds, and color of red wines aged in used oak barrels and in the bottle. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 48(10): 4613-4618.

ellagiques (tannins hydrolysables) que celui des essences européennes²⁰⁸. Les tannins ellagiques isolés dans ces espèces sont principalement la roburine A, B, C, D, E, la vescalagine, la castalagine, la grandinine²⁰⁹. On retrouve également le monomère de base, soit l'acide ellagique dans le bois à un taux de 41 mg/g de bois pour le chêne blanc, *Quercus alba*²¹⁰. Les ellagitannins du bois de chêne jouent un rôle certain (en plus des polyphénols des raisins) dans les effets bénéfiques de la consommation modérée du vin, en particulier sur les problèmes cardiaques²¹¹. Par ailleurs, il a été démontré que les ellagitannins permettent de prévenir le cancer du colon²¹². On note une plus haute teneur en composés aromatiques dans le chêne blanc, incluant l'ester β -methyl- α -octalactone et le dérivé aromatique de caroténoïdes, le 3-oxo-retro- α -ionol, qui sont des composés modulant l'arôme du vin. D'autres composés volatils identifiés dans les bois de chênes (européens et américains) tels que la vanilline, l'eugénol, le guaïacol, la siringaldéhyde, la coniféraldéhyde jouent également un rôle important dans le goût ; toutefois il existe une forte variabilité des teneurs de ces composés dans les essences européennes et américaines (particulièrement *Quercus alba*)²¹³. Certains composés comme la scopolétine (un polyphénol de la classe des coumarines, utilisée en médecine contemporaine pour réguler le flux sanguin ou comme anti-inflammatoire notamment en traitement de bronchites aiguës) ou encore les norisoprénoïdes dérivés des caroténoïdes, permettent de distinguer nettement les chênes d'Amérique des chênes d'Europe. Ce sont des marqueurs de l'origine de l'espèce et ils peuvent servir en chimiotaxonomie. Une étude entre autres sur la fermentation de la biomasse provenant du chêne rouge et du chêne blanc en production d'éthanol a démontré que les extractibles du bois de ces deux essences agissent comme inhibiteurs pour la levure utilisée dans le procédé. L'extraction se révèle

²⁰⁸ Chatonnet P. and Dubourdiou D. (1998) Comparative Study of the Characteristics of American White Oak (*Quercus alba*) and European Oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for Production of Barrels Used in Barrel Aging of Wines, pp. 79-85.

²⁰⁹ Prida A. and Puech J.-L. (2006) Influence of Geographical Origin and Botanical Species on the Content of Extractives in American, French, and East European Oak Woods. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54(21): 8115-8126.

²¹⁰ Bianco M.A., Handaji A. and Savolainen H. (1998) Quantitative analysis of ellagic acid in hardwood samples. *Science of the Total Environment* 222(1-2): 123-126.

²¹¹ Stevanovic T., Diouf P.N. and Garcia-Perez M.E. (2009) Bioactive polyphenols from healthy diets and forest biomass. *Current Nutrition and Food Science* 5(4): 264-295.

²¹² Fridrich D., Glabasnia A., Fritz J. (2008) Oak ellagitannins suppress the phosphorylation of the epidermal growth factor receptor in human colon carcinoma cells. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 56: 3010-5.

²¹³ Fernandez De Simon B., Cadahia E. and Jalocho J. (2003) Volatile Compounds in a Spanish Red Wine Aged in Barrels Made of Spanish, French, and American Oak Wood. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51(26): 7671-7678.

donc bénéfique pour la production d'éthanol²¹⁴. Cette recommandation s'applique à plusieurs essences de bois.

Alors que le bois du chêne est riche en ellagitannins (tannins hydrolysables), on remarque que l'écorce interne et externe du chêne est quant à elle contient beaucoup de tannins condensés (polymères de la catéchine, aussi nommés proanthocyanidines). Il faut rappeler que l'écorce est le tissu le plus utilisé pour ses propriétés médicinales (astringent, antiseptique). Les polyphénols suivants ont été identifiés dans l'écorce de chêne²¹⁵ : (+)-catéchine, (+) gallocatéchine, leucopelargonidine, leucocyanidine, leucodelphinidine, acide gallique. L'écorce de chêne blanc, *Quercus alba* en particulier était utilisée pour son caractère tonique sans doute relevant d'un apport d'antioxydants sous forme de vitamines (tel que l'acide ascorbique, ou vitamine C) par ingestion de l'extrait²¹⁶. Fait à remarquer, l'extrait méthanolique (alcoolique) d'écorces de *Quercus alba* présente la même activité antioxydante/antiradicalaire que le fameux thé vert²¹⁷. Ce dernier contient des tannins et son activité antioxydante est directement reliée à la présence de catéchine et autres flavonoïdes. En ce qui concerne l'identification de composés terpéniques dans les tissus du chêne, les travaux répertoriés traitent essentiellement des émissions atmosphériques de monoterpènes et d'isoprène par le chêne rouge, *Quercus rubra*²¹⁸.

En regard, des multiples propriétés médicinales attribuées aux écorces de *Quercus rubra* et *Quercus alba*, une conclusion s'impose : poursuivre les recherches permettant d'isoler et d'identifier les extractibles qu'elles recèlent. Il existe encore trop peu d'études à ce sujet sur les essences canadiennes.

²¹⁴ Ranatunga T.D., Jervis J., Helm R.F., McMillan J.D. and Hatzis C. (1997) Toxicity of hardwood extractives toward *Saccharomyces cerevisiae* glucose fermentation. *Biotechnology Letters* 19(11): 1125-1127.

²¹⁵ Rowe J.W. and Conner A.H. (1979) Extractives in Eastern Hardwood. In: 18 G. t. r.-F. (Ed.), MADISON, WISCONSIN.

²¹⁶ McCune L.M. and Johns T. (2003) Symptom-specific antioxidant activity of boreal diabetes treatments. *Pharmaceutical Biology* 41(5): 362-370.

²¹⁷ McCune L.M. and Johns T. (2002) Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the Indigenous Peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology*. 82(2-3): 197-205.

²¹⁸ Isebrands J.G., Guenther A.B., Harley P., Helmig D., Klinger L., Vierling L., Zimmerman P. and Geron C. (1999) Volatile organic compound emission rates from mixed deciduous and coniferous forests in Northern Wisconsin, USA. *Atmospheric Environment* 33(16): 2527-2536.

5.1.1.4.5. Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

Les extractibles de chêne du Québec n'ont pas fait l'objet d'expérimentations par notre laboratoire. Cependant, la revue de littérature de la Pr. Stevanovic préalablement citée dans ce document, contient un grand nombre de références bibliographiques sur les propriétés des polyphénols du genre *Quercus* et leurs applications en agro-alimentaire ou en nutraceutique²¹⁹.

Les volumes d'essences feuillues sont les plus importants dans des régions administratives tels que l'Outaouais et Laurentides. Dans les forêts de ces régions, le bouleau jaune domine, généralement accompagné de l'érable à sucre et du sapin baumier. Les scieries de ces régions pourraient donc envisager le développement d'unités pilotes d'extraction de l'écorce de bouleau jaune, notamment, pour la valorisation de ses composés bioactifs dont les propriétés connues à ce jour trouvent des applications dans les secteurs visés par ce mandat (pharmaceutique, cosmétique, nutraceutique et agro-alimentaire). Également en Abitibi-Témiscamingue, la forêt mixte permet également une exploitation de ce type d'essences, autant que pour les résineux (Fig. 6)²²⁰. En Abitibi-Témiscamingue, 80% des emplois sont liés à la transformation du bois (usine de pâtes et papiers, scieries, etc.) et près de 11% des emplois sont liés à la récolte de la matière ligneuse. Une industrie dans cette région peut produire des extractibles à partir des écorces des deux types d'essences. Le facteur de conversion pour les feuillus donnant le tonnage métrique d'écorces par mètre cube de bois consommé est de 0,095. Il serait donc intéressant de développer des recherches sur la nature chimique et les propriétés biologiques des extractibles provenant des essences majoritaires de ces régions ayant de plus une disponibilité en écorces qui pourraient être destinée à des programmes de recherche (Fig.12).

²¹⁹ Stevanovic T., Diouf P.N. and Garcia-Perez M.E. (2009) Bioactive polyphenols from healthy diets and forest biomass. *Current Nutrition and Food Science* 5(4): 264-295.

²²⁰ Parent, B. (2009) Ressources et Industries forestières, Portrait statistique, MRNF, Québec.

5.1.2. Notes sur les extractibles des feuillus secondaires du Québec

Dans ce mandat, nous avons précédemment ciblé des genres dont les espèces sont d'un fort intérêt commercial pour l'industrie forestière québécoise. Cependant, la biodiversité des forêts du territoire est telle qu'on doit limiter le cadre de ce travail relativement à l'état des connaissances sur la nature des extractibles forestiers. Nous traitons tout de même plus succinctement d'autres genres présents dans les forêts du Québec tels que *Fraxinus*, *Ulmus*, *Tillia*, *Juglans* et *Carya*. . Dans cette section nous proposons une brève révision de l'intérêt que peuvent représenter les essences appartenant à ces genres, et ce pour des marchés tels que la pharmaceutique, la cosmétique, la nutraceutique ou l'agro-alimentaire.

5.1.2.1. Le Frêne : genre *Fraxinus*

Dans ce genre, les trois espèces présentes dans les forêts québécoises sont le frêne d'Amérique ou frêne blanc (*Fraxinus americana*), le frêne de Pennsylvanie ou frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica*) et le frêne noir ou frêne gras (*Fraxinus nigra*). On les rencontre partout au Québec sauf au nord, où seul le frêne noir peut survivre.

Le frêne d'Amérique (frêne blanc ou franc chêne) est un arbre de la famille des Oléacées. Il s'agit de l'espèce la plus répandue en Amérique du Nord et dans les forêts québécoises. Cette essence s'avère utile lorsqu'on a besoin d'un matériel très solide : articles de sport et manches de toutes sortes. Le bois fort et résistant du frêne blanc est considéré comme l'un des plus précieux d'Amérique du Nord, et on l'utilise aussi en ébénisterie et pour la fabrication de pièces tournées. Fait intéressant, on fabrique de la teinture jaune-beige à partir de l'écorce²²¹. L'écorce interne du frêne blanc a été recommandée dans le traitement de la dysménorrhée et, elle serait, tout comme les feuilles, un excellent remède contre les rhumatismes²²².

En ce qui concerne les extractibles identifiés dans les tissus du frêne d'Amérique, citons une étude faite en 1997 sur les extraits polyphénoliques d'écorce ; les auteurs ont déterminé l'activité antioxydante et anti-enzymatique de ces extraits constitués de composés tels que l'actéoside, le 10-hydroxyligstroside, le ligstroside et la syringine²²³. Plusieurs autres travaux ont démontré diverses activités biologiques pour l'actéoside. Ce composé agit notamment sur

²²¹ http://www.passeportsante.net/fr/Solutions/HerbierMedicinal/Plante.aspx?doc=frene_hm

²²² Frenido R. (2004) *Fraxinus Americana*-Observation Clinique-Matière médicale-Etude thématique. Societas Regalis Homeopathica Belgica. MDCCCLXXII. Revue n°43:22.

²²³ Nishibe S., Sardari S., Kodama A., Horita K., Kudo M., Koike K. and Nikaido T. (1997) Constituents of bark of *Fraxinus americana*. Natural Medicines 51(5): 482-485.

l'hypertension²²⁴, il inhibe la prolifération des cellules leucémiques²²⁵ et fait preuve d'une activité antimétastatique vis-à-vis les cellules cancéreuses²²⁶. La ligstroside est quant à elle un composé phénolique complexe identifié également dans l'huile d'olive²²⁷. En 2000, Takenaka et al. ont isolé plusieurs glucosides secoiridoïdes des extraits alcooliques de feuilles²²⁸. Ce type de composé joue un rôle répulsif envers les insectes. Les extractibles du phloème des frênes blanc et rouge ont également fait l'objet d'une étude plus récente dans laquelle plusieurs composés phénoliques ont identifiés²²⁹. Pour le frêne blanc, on retrouve ainsi dans la liste des composés les mêmes que ceux cités précédemment mais aussi d'autres tels que la quercétine, des hexosides dérivés du pinoresinol (un insecticide), lariciresinol, l'apigénine. La composition du phloème du frêne rouge est similaire à celle du frêne blanc avec en plus la présence d'hexosides dérivés du tyrosol.

Cette brève revue montre l'intérêt particulier des extraits bioactifs de l'écorce de frêne blanc. Des polyphénols complexes ont été identifiés mais dans un nombre limité d'études disponibles

Omar et al. (2000) ont détecté une activité antimicrobienne contre la bactérie *Staphylococcus aureus* dans l'extrait d'écorce du frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica*) et de très faibles activités antifongiques contre diverses souches de moisissures²³⁰.

5.1.2.2. L'Orme : genre *Ulmus*

Trois espèces indigènes d'ormes croissent au Québec, l'Orme d'Amérique (*Ulmus americana*), l'Orme liège (*Ulmus thomasi*) et l'Orme rouge (*Ulmus rubra*). L'Orme d'Amérique est la plus répandue.

²²⁴ Mansoor A., Ghazala H.R., Khalid A., Viqar Uddin A., Anwarul Hasan G. and Shahida Perveen A. (1995) Acteoside: A new antihypertensive drug, pp. 525-527.

²²⁵ Lee K.-W., Kim H.J., Lee Y.S., Park H.-J., Choi J.-W., Ha J. and Lee K.-T. (2007) Acteoside inhibits human promyelocytic HL-60 leukemia cell proliferation via inducing cell cycle arrest at G0/G1 phase and differentiation into monocyte, pp. 1928-1936.

²²⁶ Ohno T., Inoue M., Ogihara Y. and Saracoglu I. (2002) Antimetastatic Activity of Acteoside, a Phenylethanoid Glycoside. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 25(5): 666-668.

²²⁷ Tripoli E., Giammanco M., Tabacchi G., Di Majo D., Giammanco S. and La Guardia M. (2005) The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health, *Cambridge Journals Online*, pp. 98-112.

²²⁸ Takenaka Y., Tanahashi T., Shintaku M., Sakai T., Nagakura N. and Parida (2000) Secoiridoid glucosides from *Fraxinus americana*. *Phytochemistry* 55(3): 275-284.

²²⁹ Eyles A., Jones W., Riedl K., Cipollini D., Schwartz S., Chan K., Herms D.A. and Bonello P. (2007) Comparative phloem chemistry of manchurian (*Fraxinus mandshurica*) and two North American ash species (*Fraxinus americana* and *Fraxinus pennsylvanica*). *Journal of Chemical Ecology* 33(7): 1430-1448.

²³⁰ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 73(1-2): 161-170.

L'Orme d'Amérique se retrouve dans tout le sud du Québec mais les peuplements sont très vulnérables, car ils sont souvent touchés par la maladie hollandaise de l'orme, causée par deux champignons microscopiques apparentés : *Ophiostoma ulmi* (Buisman) Nannf. et *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier, le plus virulent²³¹. Cette maladie, rapportée au Québec depuis 1930, a fait des ravages considérables en se propageant presque partout dans la province, détruisant un grand nombre d'ormes²³². Le bois est dur, difficile à fendre, à grain grossier, peu durable. On observe souvent des gros arbres au cœur pourri et creux sur toute la longueur du tronc. Le bois de l'orme d'Amérique est employé en construction maritime (car il se conserve sous l'eau), en ébénisterie, en carrosserie et en tonnellerie²³³. Les Iroquois ne consommaient l'écorce que dans les cas d'urgence²³⁴, en préparant du thé mixte avec l'écorce de chêne (espèce non précisée) pour soigner les hernies. Traditionnellement, on s'aperçoit que l'orme rouge a été beaucoup utilisé, par exemple chez les Ojibwas sous forme de décoctions pour soigner les maux de gorge, et par les Montagnais pour soigner blessures, et hémorragies.

Les premières études concernant les extractibles d'*Ulmus americana* mentionnent le caractère stimulant des extraits benzéniques d'écorce de ramilles chez le scarabée (*Scolytus multistriatus*) qui se nourrit de ce tissu, cette essence étant considérée comme son hôte^{235,236}. Plus tard, des quinones de sesquiterpènes (mansonones), ont été isolées des extraits de branches de l'Orme d'Amérique suite à une infestation fongique²³⁷. Ces composés d'activité antifongiques sont ainsi synthétisés par l'Orme en réponse aux attaques par pathogènes. Ont été également identifiés dans ces extraits le β -sitostérol et la scopolétine, un analgésique puissant. En 2000, Omar et al. découvrent qu'une exposition du tissu aux rayons UV augmente significativement l'activité antimicrobienne des extraits d'écorce d'Orme

²³¹ <http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/fimaq/insectes/fimaq-insectes-maladies-hollandaise.jsp>

²³² www.partenariat.qc.ca

²³³ http://www.florelaurentienne.com/flore/Groupes/Spermatophytes/Angiospermes/Dicotyles/016_Ulmacees/01_Ulmus/americana.htm

²³⁴ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 59: 2189-2325.

²³⁵ Norris D.M. and Baker J.E. (1967) Feeding responses of the beetle *Scolytus* to chemical stimuli in the bark of *Ulmus*. *Journal of Insect Physiology* 13(6): 955-958, IN911-IN912, 959-962.

²³⁶ Gilbert B.L. and Norris D.M. (1968) A chemical basis for bark beetle (*Scolytus*) distinction between host and non-host trees. *Journal of Insect Physiology* 14(8): 1063-1066, IN1061-IN1062, 1067-1068.

²³⁷ Dumas M.T., Strunz G.M., Hubbes M. and Jeng R.S. (1983) Isolation and identification of six mansonones from *Ulmus americana* infected with *Ceratocystis ulmi*. *Cellular and Molecular Life Sciences* 39(10): 1089-1090.

d'Amérique²³⁸. Cette essence fabrique des phytoalexines permettant de lutter contre le stress environnemental ainsi que contre les attaques de microorganismes.

5.1.2.3. Le Tilleul: genre *Tilia*

La seule espèce indigène du Québec est le tilleul d'Amérique (*Tilia americana* ou *Tilia glabra*), mieux connue dans la province sous le nom de « bois blanc », probablement à cause de son bois qui de tout temps a été prisé par les ébénistes, les sculpteurs et les luthiers. Les fleurs de tilleul ont servi à soigner des conditions aussi variées que spasmes, troubles digestifs, insomnie, névroses et, du fait qu'elles agissent sur l'hyperviscosité et l'hypercoagulation sanguines, l'athérosclérose²³⁹. Plus récemment, on a observé qu'elles augmentaient la résistance non spécifique de l'organisme, ce qui en fait un excellent remède contre la grippe et le rhume particulièrement chez l'enfant. Dans sa *Flore Laurentienne*, le Frère Marie-Victorin mentionne les propriétés antispasmodiques et diaphorétiques des fleurs de cette essence²⁴⁰. Plus récemment, les effets tranquillisants observés en médecine traditionnelle ont été démontrés scientifiquement sur la souris par la mesure des effets sédatif et anxiolytique et de l'activité ambulatoire (impact sur l'équilibre moteur du corps) des extraits hexaniques et méthanoliques de l'inflorescence du tilleul²⁴¹. Dans l'extrait bioactif des fleurs avec le solvant hexane, le β -sitostérol et plusieurs acides gras de même qu'un triterpène ont été identifiés²⁴². L'activité anxiolytique de l'extrait à l'eau des fleurs de tilleul a également été observée. Les études phytochimiques sur les extraits polaires du genre *Tilia* spp. ont démontré la présence récurrente de polyphénols incluant plusieurs flavonoïdes tels que quercitrine, isoquercitrine, kaempférol, astragaline, hyperoside, tiliroside, quercetin-3,7-*O*-dirhamnoside et kaempferol-3,7-*O*-dirhamnoside. Dans les extraits aqueux de fleurs, on

²³⁸ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 73(1-2): 161-170.

²³⁹ Sousa F.C.F., Melo C.T.V., Citó M.C.O., Félix F.H.C., Vasconcelos S.M.M., Fonteles M.M.F., Barbosa Filho J.M. and Viana G.S.B. (2008) Medicinal plants and their bioactive constituents: A scientific review of bioactivity and potential benefits in the anxiety disorders in animal models, *Revista Brasileira de Farmacognosia* 18(4): 642-654.

²⁴⁰ http://www.florelaurentienne.com/flore/Groupes/Spermatophytes/Angiospermes/Dicotyles/058_Tiliacees/01_Tilia/americana.htm

²⁴¹ Aguirre-Hernández E., Martínez A.L., González-Trujano M.E., Moreno J., Vibrans H. and Soto-Hernández M. (2007) Pharmacological evaluation of the anxiolytic and sedative effects of *Tilia americana* L. var. *mexicana* in mice. *Journal of Ethnopharmacology* 109(1): 140-145.

²⁴² Aguirre-Hernández E., Rosas-Acevedo H., Soto-Hernández M., Martínez A.L., Moreno J. and González-Trujano M.E. (2007) Bioactivity-Guided isolation of β -Sitosterol and Some Fatty Acids as Active Compounds in the Anxiolytic and Sedative Effects of *Tilia americana* var. *mexicana*. *Planta Med* 73(11): 1148-1155.

trouve des dérivés de la quercétine et du kaempférol²⁴³. Le fractionnement d'un extrait hexanique montre que les composés de cet extrait solubles dans le méthanol sont les plus actifs. Dans cette fraction, on trouve donc les composés responsables de l'activité sédatrice et anxiolytique de l'extrait de fleurs. Ont été identifiés dans cet extrait le tiliroside, la quercitrine, la rutine, le kaempférol, et la quercétine. Cette dernière molécule, connue pour ses propriétés anti-inflammatoires, joue un rôle dans l'activité analgésique de l'extrait aqueux de fleurs, ce dernier étant le plus actif comparé aux extraits hexanique et méthanolique. Cet extrait pourrait donc être impliqué dans le traitement contre la douleur arthritique²⁴⁴.

Dans son étude ethnopharmacologique, Arnason souligne que les Iroquois consommaient l'écorce sous forme de thé de ramilles avant l'accouchement et aussi pour traiter les blessures. Le criblage de plusieurs autres essences²⁴⁵ a permis d'évaluer l'activité antimicrobienne des extraits d'écorce et de bois du tilleul. L'extrait de bois est actif contre la bactérie Gram positive sporulante *Bacillus subtilis* et cette activité antibactérienne augmente suite à une exposition aux rayons UV ; les auteurs n'ont détecté aucune activité antifongique. Il existe à notre connaissance aucune étude réalisée sur les extraits d'écorces.

5.1.2.4. Le Noyer : genre *Juglans*

Il existe plusieurs noyers indigènes du Canada, citons le noyer noir (*Juglans nigra*), le noyer cendré (*Juglans cinerea*) de même que le noyer du Japon (*Juglans ailantifolia*).

Au Canada, le noyer noir (*Juglans nigra*) pousse à l'état naturel uniquement dans le sud de l'Ontario. On le retrouve cependant dans la partie méridionale du Québec où il est planté comme arbre d'ornement et - en plantations d'essais - à des fins de production de bois noble.

Le noyer cendré (*Juglans cinerea*), le seul noyer indigène au Québec, possède un bois et des noix de qualité mais il demeure exploité moins intensivement que les noyers noir et commun. Il constitue malheureusement une espèce en voie de disparition à cause de l'invasion du chancre (infection de type fongique). Son bois léger, mou, faible, à grain grossier, présente un aspect brun pâle mais fonce rapidement à l'air. On l'emploie fréquemment pour les ouvrages

²⁴³ Pérez-Ortega G., Guevara-Fefer P., Chávez M., Herrera J., Martínez A., Martínez A.L. and González-Trujano M.E. (2008) Sedative and anxiolytic efficacy of *Tilia americana* var. *mexicana* inflorescences used traditionally by communities of State of Michoacan, Mexico. *Journal of Ethnopharmacology* 116(3): 461-468.

²⁴⁴ Martínez A.L., González-Trujano M.E., Aguirre-Hernández E., Moreno J., Soto-Hernández M. and López-Muñoz F.J. (2009) Antinociceptive activity of *Tilia americana* var. *mexicana* inflorescences and quercetin in the formalin test and in an arthritic pain model in rats. *Neuropharmacology* 56: 564-571.

²⁴⁵ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 73(1-2): 161-170.

d'ébénisterie et la décoration intérieure des maisons. Les couches internes de l'écorce jouissent de propriétés cathartiques utilisées depuis fort longtemps. On mélangeait l'extrait d'écorce avec du miel, et la mixture permettait d'opérer sans causer de douleur ni d'irritation²⁴⁶. On l'a également employé contre la dysenterie, pour soigner les ophtalmies inflammatoires, et contre les maux de dents par l'application sur la nuque, d'un petit morceau d'écorce trempé dans l'eau tiède²⁴⁷.

Notre recherche dans la littérature des extractibles de noyers du Québec indiquent la prépondérance des études effectuées sur le noyer noir, *Juglans nigra*. Divers auteurs ont évalué plusieurs parties et sous-produits de l'arbre (feuilles, bois, écorce, noix, graines etc..). La plupart des travaux récents concernent les extractibles des fruits du noyer. Ces extraits de propriétés intéressantes ne seront pas détaillés dans le cadre de ce mandat. Nous nous concentrons sur les données relatives aux écorces de ces essences.

Les noyers noir et cendré font partie de la famille des juglandacées. Un composé bien connu de l'écorce de cette famille est la juglone²⁴⁸, une molécule de la classe des polyphénols qui possède un large spectre d'activités biologique^{249,250,251}: antimicrobienne, antitumorale, sédative, antioxydante, fongicide. La juglone est aussi considérée comme cytotoxique, de par sa capacité à désactiver notamment le système enzymatique de protection de l'organisme contre le stress oxydatif²⁵². Elle peut causer des dommages cutanés importants en application directe. Cette substance extraite de l'écorce du noyer noir (*Juglans nigra*) a été utilisée comme purgatif et laxatif. Par ailleurs elle serait responsable du caractère allélopathique des extraits servant au développement d'herbicides naturels²⁵³. La juglone s'avère sans aucun doute d'un grand intérêt. Le noyer noir (*Juglans nigra*) présente un bois imputrescible, très résistant. Des polyphénols dans l'extrait de l'écorce du noyer noir ont été identifiés dès

²⁴⁶http://www.florelaurentienne.com/flore/Groupes/Spermatophytes/Angiospermes/Dicotyles/014_Juglandacees/01_Juglans/cinerea.htm

²⁴⁷http://www.florelaurentienne.com/flore/Groupes/Spermatophytes/Angiospermes/Dicotyles/014_Juglandacees/01_Juglans/cinerea.htm

²⁴⁸ Rowe J.W. and Conner A.H. (1979) Extractives in Eastern Hardwood. In: 18 G. t. r.-F. (Ed.), MADISON, WISCONSIN.

²⁴⁹ Alice M.C., Tannis M.J. and Charles D.H. (1990) Antimicrobial activity of juglone. *Phytotherapy Research* 4(1): 11-14.

²⁵⁰ Gîrzu M., Carnat A., Privat A.M., Fialip J., Carnat A.P. and Lamaison J.L. (1998) Sedative Effect of Walnut Leaf Extract and Juglone, an Isolated Constituent, *Pharmaceutical Biology* 36(4): 280-286.

²⁵¹ Auyong T.K., Westfall B.A. and Russell R.L. (1963) Pharmacological aspects of juglone. *Toxicon* 1(4): 235-239.

²⁵² Inbaraj J.J. and Chignell C.F. (2003) Cytotoxic Action of Juglone and Plumbagin: A Mechanistic Study Using HaCaT Keratinocytes. *Chemical Research in Toxicology* 17(1): 55-62.

²⁵³ Shrestha A. (2009) Potential of a black walnut (*Juglans nigra*) extract product (NatureCur®) as a pre- and post-emergence bioherbicide. *Journal of Sustainable Agriculture* 33(8): 810-822.

1972²⁵⁴, soit: des composés tels que les flavonoïdes, myricétine, myricitrine (myricétine-3-rhamnoside), sakuranétine et sakurénine (sakuranétine-5-glucoside); la chalcone glucoside néosakuranine; et enfin la juglone ainsi que son dérivé, la dihydrojuglone-4-glucoside.

L'extrait d'écorce du noyer cendré (*Juglans cinerea*) a démontré un très large spectre d'activités antimicrobiennes envers plusieurs souches de bactéries (Gram+ et Gram-) et de champignons ; comme dans d'autres cas précités, l'activité s'améliore après traitement aux UV²⁵⁵. Nous n'avons pas répertorié d'études détaillées sur les molécules isolées des extraits provenant de l'écorce du noyer cendré. Cette brève revue met tout de même en perspective la valeur de ces essences dont le bois est prisé pour sa qualité et dont les extractibles bioactifs pourront livrer diverses substances naturels trouvant des applications dans des secteurs variés (pesticides, herbicides, médicaments, cosmétiques, antioxydants...).

5.1.2.5. Le Caryer : genre *Carya*

On compte 5 espèces de caryers indigènes au Canada. Au Québec, les caryers cordiforme (*Carya cordiformis*) et oval (*Carya ovata*) occupent tout le domaine bioclimatique de l'érablière à caryer²⁵⁶. Ces espèces produisent également des noix comestibles, étant de la même famille que les noyers.

Le caryer cordiforme appartient à la famille des pacaniers. En anglais, ils sont nommés Hickory (qui vient du nom donné par les Algonquins). Il s'agit du plus nordique des caryers. Les noix, rondes et amères, à l'intérieur d'une collerette jaune-vert avec un bout pointu, sont consommées par la faune, mais l'humain apprécie très peu leur forte teneur en tannins et leur extrême amertume. Malgré tout, les premiers colons utilisaient l'huile extraite des noix dans leurs lampes et attribuaient à l'huile une vertu curative envers les rhumatismes. Les Iroquois quant à eux mélangeaient l'huile mélangée à la graisse d'ours afin de repousser les insectes ; ils utilisaient aussi l'écorce pour faire fabriquer meubles et raquettes. Depuis longtemps le caryer est populaire comme bois de chauffage car il brûle de façon égale et produit une chaleur uniforme de longue durée. Son charbon de bois transfère aux aliments un goût de fumée agréable. Sa relative rareté dans de nombreuses forêts s'explique en partie par la coupe visant à en faire du bois de chauffage.

²⁵⁴ Gupta S.R., Ravindranath B. and Seshadri T.R. (1972) Polyphenols of *Juglans nigra*. *Phytochemistry* 11(8): 2634-2636.

²⁵⁵ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 73(1-2): 161-170.

²⁵⁶ Lupien P. (2009) Espèces arborescentes indigènes compagnes. Consultation sur les guides sylvicoles.

Le bois du caryer ovale est considéré comme le meilleur chez cette espèce. Recherché des ébénistes - malgré sa faible disponibilité -, il est dur, fort, résistant et plutôt poreux. Les noix du caryer ovale ont un goût sucré fort délicieux.

Les extraits d'écorce des caryers cordiformes et ovale ont été testés sur plusieurs souches de bactéries et de champignons filamenteux. L'extrait de cordiforme s'avère actif contre la bactérie *Staphylococcus aureus* alors que l'extrait du caryer ovale est inactif contre cette même souche. Les extraits de caryers sont néanmoins moins actifs sous cet aspect que d'autres essences évaluées dans les travaux de Omar et al.²⁵⁷ L'extrait d'écorce de caryer oval contient majoritairement de la juglone dont les multiples propriétés ont été décrites précédemment. Une étude datant de 1967 identifiait ce composé comme responsable du caractère répulsif de l'extrait envers les insectes²⁵⁸.

Il n'existe à notre connaissance aucune autre étude phytochimique sur les extraits d'écorce de caryers.

5.1.3. Bilan : le potentiel de développement lié aux extractibles des feuillus

Cette revue de la littérature a permis de ratisser le sujet des extractibles des feuillus présents dans les forêts québécoises et notamment, ceux des essences les plus commercialisées. Ceci nous permet de mettre en évidence les points suivants :

- La nécessité de poursuivre les recherches sur la nature des extractibles et leurs propriétés biologiques. On constate nettement un manque de connaissances phytochimiques pour les essences feuillues nord-américaines, comparativement aux informations accumulées sur les essences européennes de même genre.
- Les données ethnopharmacologiques sont des pistes indéniables pour guider les chercheurs vers les essences à fort potentiel biologique. Il s'agit par exemple d'établir les concordances entre d'une part, les traitements thérapeutiques traditionnels uniques aux amérindiens et se fondant sur les extraits de diverses essences, et d'autre part les observations scientifiques récentes sur les activités biologiques de ces mêmes extraits.

²⁵⁷ Omar S., Lemonnier B., Jones N., Ficker C., Smith M.L., Neema C., Towers G.H.N., Goel K. and Arnason J.T. (2000) Antimicrobial activity of extracts of eastern North American hardwood trees and relation to traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*. 73(1-2): 161-170.

²⁵⁸ Gilbert B.L., Baker J.E. and Norris D.M. (1967) Juglone (5-hydroxy-1,4-naphthoquinone) from *Carya ovata*, a deterrent to feeding by *Scolytus multistriatus*. *Journal of Insect Physiology* 13(10): 1453-1454

Dans beaucoup de cas, les autochtones se nourrissaient de ces produits forestiers sur une base régulière sans épisodes de toxicité.

- Les essences feuillues du Québec représentent des sources importantes d'extractibles aux multiples propriétés biologiques pour la conception et la formulation de produits à haute valeur ajoutée. Mentionnons l'acide bétulinique du bouleau blanc (anti-cancer, anti-VIH), les tannins du chêne rouge (astringent, antioxydant), les polyphénols dont les salicylates du peuplier (analgésique, antioxydant, tonique) et de nombreux autres....

A la lumière de ce bilan global, on constate que les écorces ont été beaucoup moins étudiées que les parties aériennes des arbres (feuilles, fleurs, branches etc.). Pour établir des programmes de valorisation des résidus écorces, il sera nécessaire de favoriser et soutenir des programmes de recherches visant entre autre une identification rigoureuse des extractibles de ce tissu de même que l'évaluation des diverses bioactivités. De plus, la distinction entre l'écorce externe et interne de l'arbre est importante car la composition de ces deux parties varient grandement dans certains cas et les extraits respectifs pourront suggérer des applications totalement différentes. Les données disponibles sur les traditions amérindiennes illustrent bien cette différence qui se reflète dans les usages thérapeutiques. Sachons-nous inspirer des connaissances empiriques que ces peuples ont su accumuler au fil des ans.

5.2. Les extractibles des résineux du Québec

Le chapitre suivant comprenait la revue de littérature par genre, spécifiquement chez les feuillus. Examinons maintenant les informations disponibles sur les extractibles de conifères.

Les espèces étudiées sont :

Tableau 22 Listes des essences résineuses étudiées dans ce chapitre.

Espèce	Nom botanique	Terminologie anglaise
Épinette	<i>Picea</i> spp.	Spruce
Pin	<i>Pinus</i> spp.	Pine
Mélèze	<i>Larix</i> spp.	Larch
Sapin	<i>Abies</i> spp.	Fir
Pruche	<i>Tsuga</i> spp.	Hemlock
Thuja	<i>Thuja</i> spp.	Thuja

5.2.1. Les extractibles des essences résineuses d'intérêt commercial

5.2.1.1. L'épinette : genre *Picea*

5.2.1.1.1. Les diverses espèces présentes au Canada



Figure 19 : Photo d'une épinette noire (*Picea mariana*). Source :Daniel Tigner.
<http://www.mnr.gov.on.ca/fr/Business/ClimateChange/2ColumnSubPage/268199.html>

Au Canada, on compte 9 espèces du genre *Picea* dont 6 sont indigènes. L'épinette noire (*Picea mariana*) constitue l'essence résineuse la plus répandue dans les forêts canadiennes. Les forêts des tourbières, généralement dominées par l'épinette noire, représentent environ 25 % des terrains forestiers productifs dans la portion centrale de l'écozone du bouclier boréal²⁵⁹.

- ✓ Épicéa bleu (*Picea pungens*)
- ✓ Épicéa commun ou épinette de Norvège (*Picea abies*)
- ✓ Épicéa de Serbie (*Picea omorika*)
- ✓ Épinette blanche (*Picea glauca*)
- ✓ Épinette d'Engelmann (*Picea engelmannii*)
- ✓ Épinette de Sitka (*Picea sitchensis*)
- ✓ Épinette du Colorado (*Picea pungens*)
- ✓ Épinette noire (*Picea mariana*)
- ✓ Épinette rouge (*Picea rubens*)

²⁵⁹ <http://cfs.nrcan.gc.ca/projets/178>

Trois espèces sont indigènes au Québec : l'épinette blanche (*Picea glauca*), l'épinette noire (*Picea mariana*), et l'épinette rouge (*Picea rubens*). Cependant, on trouve également l'épinette de Norvège (*Picea abies*) qui a été introduite et plantée en milieu forestier à partir de 1915. Cette espèce a connu une grande popularité compte tenu de sa forte productivité en plantation qui dépasse généralement les performances des épinettes indigènes²⁶⁰. Les épinettes souffrent de la menace de la tordeuse des bourgeons. Au Québec, ce prédateur (TBE) est répandu dans toute l'aire de distribution de ses principaux hôtes, soit l'épinette blanche, l'épinette rouge, l'épinette noire et le sapin baumier, qui est de loin son essence préférée.

5.2.1.1.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière

Epinette blanche (*Picea glauca*)

L'épinette blanche demeure l'une des essences forestières les plus utilisées pour le reboisement. Son bois s'utilise pour la construction, le bois d'œuvre, les pâtes et papiers, de même qu'en fabrication d'instruments de musique. On a observé que le bois produit et récolté en plantation comporte généralement une proportion supérieure de bois juvénile comparativement au bois provenant de peuplements naturels, en grande partie du fait qu'il est récolté plus jeune. Ce phénomène pourrait diminuer la qualité du bois de sciage produit et récolté en plantation, et ce particulièrement après le séchage.²⁶¹

Épinette noire (*Picea mariana*)

Cette essence domine largement la forêt boréale de l'est du continent nord-américain. En effet, *Picea mariana* possède une grande importance économique. Présente dans toute la zone des forêts commerciales, la qualité de son bois (fibres longues, densité élevée) en fait une espèce recherchée par l'industrie forestière pour le sciage de bois d'œuvre, et en pâte et papier. De plus, insectes et maladies ne l'affectent peu. Il s'agit aussi de l'essence la plus utilisée dans le programme de reboisement. L'épinette noire fait partie des essences dont on tire un excellent papier journal.

²⁶⁰ Daoust, G (1999) Les programmes d'amélioration génétique : bilan des réalisations; l'épinette de Norvège. Dans L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous? Actes du colloque tenu à Rivière-du-Loup les 28, 29 et 30 septembre 1999. Pp. 69-76.

²⁶¹ Jean B., Bruno G. and Yves F. (2002) Effect of drying treatments on warping of 36-year-old white spruce seed sources tested in a provenance trial, pp. 503-509.

Épinette rouge (*Picea rubens*)

Le bois de l'épinette rouge est brun pâle ou crème, relativement tendre et modérément résistant. On le retrouve comme bois d'œuvre et contreplaqué en construction, et compte tenu de sa faible teneur en résine, il est un choix de premier ordre pour les pâtes et papiers^{262,263}. L'épinette rouge et l'épinette noire se croisent naturellement ensemble, donnant naissance à des individus possédant des caractéristiques intermédiaires. L'épinette rouge est réputé pour mal résister aux vents, et aussi pour sa sensibilité à la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Un autochtone à qui on demande de montrer une épinette rouge désignera souvent un mélèze. Ceci a souvent porté à confusion dans les écrits, d'où un désintéressement vis-à-vis cette essence.

Épinette de Norvège (*Picea abies*)

L'épinette de Norvège est reconnue pour sa productivité élevée en plantation. L'essence s'est avérée supérieure en tout point à l'épinette blanche non affectée par le charançon. Sa croissance rapide, la flexibilité de sa tige et ses branches généralement plus fines et moins nombreuses pourraient expliquer sa productivité au sciage, tant en volume qu'en qualité, et ce malgré la présence de dommages causés par le charançon. De plus, dans les sites de bonne qualité, les déformations observées sur les arbres de jeunes plantations s'atténuent grandement au fil des ans car cette espèce possède une aptitude notable à corriger les défauts.

5.2.1.1.3. Utilisations traditionnelles

Une recherche sur les « vertus » traditionnellement attribuées aux épinettes nous a permis de rassembler un certain nombre d'informations. Celles-ci recourent de nombreuses données relevées dans l'étude ethnopharmacologique effectuée par Arnason en 1981.

Chez de nombreuses nations amérindiennes, la gomme-résine des diverses espèces d'épinette était consommée comme gomme à mâcher. Les jeunes pousses préparées en décoction servaient parfois pour soigner la toux. Expectorantes et diaphorétiques, on peut les ajouter à l'eau du bain pour bénéficier de leur effet sédatif. On leur attribue des propriétés dépuratives et légèrement purgatives^{264,265}. Par ailleurs, une bière préparée avec les bourgeons de l'une ou

²⁶² <http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/soussite/mx-212/epinetterouge>

²⁶³ http://www.arboquebecium.com/picea_rubens.html

²⁶⁴ <http://www.kanata.fr/terroir/epinette.php>

²⁶⁵ http://www.passeportsante.net/fr/Solutions/HerbierMedicinal/Plante.aspx?doc=epinette_hm

l'autre espèce servait à soigner la tuberculose. L'écorce a également servi à la préparation de potions médicinales. Au Québec, on attribuait à la gomme de puissantes propriétés antiscorbutiques, prodigestives et efficaces contre le mal de mer. Les utilisateurs la mâchaient telle quelle, ou l'employaient sous forme de teinture en la dissolvant dans l'alcool. On retrouve encore dans le commerce du sirop de sapin ou d'épinette que l'on ingère pour ses vertus expectorantes. Du côté de l'Europe, une espèce d'épinette - le *Picea abies* - était jadis fréquemment employée dans les bains médicaux pour soigner les troubles nerveux et rhumatismaux : on récoltait de préférence les jeunes pousses et les aiguilles d'arbres âgés de 60 à 80 ans, dans lesquelles les principes actifs étaient particulièrement concentrés.

Nous avons regroupé dans le tableau 26 l'ensemble des données ethnopharmacologiques regroupées par Arnason²⁶⁶ (1981) sur les espèces du genre *Picea* présentes au Québec. L'ensemble des utilisations thérapeutiques des diverses essences livre des pistes solides en vue d'identifier les extractibles bioactifs pour futures applications en pharmaceutique, nutraceutique ou cosmétique.

Tableau 23 Compilation des données de l'étude ethnopharmacologique réalisée par Arnason²⁶⁷.

Espèce	Culture	Tissu utilisé	Méthode utilisée	Application thérapeutique	
<i>Picea</i> sp.	Iroquois	Résine		Tuberculose	
Épinette blanche (<i>Picea glauca</i>)	Ojibwa	Feuilles		Inhalant	
		Ramilles		Rhumatisme	
		Ecorces et racines	Thé	Faiblesse et maux d'estomac	
	Algonquin	Ramilles	Bouillies avec <i>Pinus mariana</i> , <i>Pirus americana</i> , <i>Sombucus canadensis</i> , <i>Gaultheria procumbens</i>		Fortifiant du sang
		Aiguilles		Thé	- Maintien de la santé en générale - Remède pour la toux - Prescrit après accouchement
		Ecorce interne et		Infusion	Laxatif
		Résine	Gomme (mâchée) ou en baume		
	Montagnais	Ramilles			Santé générale
	Abenaqui	Résine et cône vert		Infusion	Élimination d'urine

²⁶⁶ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Can. J. Bot. 59: 2189-2325.

²⁶⁷ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Can. J. Bot. 59: 2189-2325.

	Maritime			Troubles d'estomac, soin des plaies et maux de gorge
		Écorce gomme-résine, ramilles		Scorbut
	Cree	Résine	Gomme	Laxatif
			Baume en application	Maux de gorge
		Cônes	Gelée	Maux de tête, maux d'estomac
Épinette noire (<i>Picea mariana</i>)	Ojibwa	Feuilles	Thé	Tonifiant. Douleurs dorsales
		Résine	Gomme	Laxatif
		Ecorces	Broyées (chauffées et inhalées)	Douleurs dorsales
		Feuilles	Broyées appliquées	Maux de tête
		Ecorces et racines	Thé	Maux d'estomac, Faiblesse générale
	Algonquin	Aiguilles	Thé	État de santé général
		Résine	Baume	Après accouchement
			Gomme	Laxatif
			Bouillies avec <i>Pinus glauca</i> , <i>Pirus americana</i> , <i>Sombucus canadensis</i> , <i>Gaultheria procumbens</i>	Fortifiant pour le sang
	Montagnais	Ramilles	Bouillies	Remède pour la toux
	Micmac	Ecorces		
	Cree	Résine	Gomme appliquée	Maux de gorge
Épinette rouge (<i>Picea rubens</i>)		Écorces	Bouillies avec les racines d'une « herbe amère »	Poumons et bronchite

Ce tableau ignore toute utilisation traditionnelle de l'épinette rouge, essence que les autochtones confondaient avec le mélèze. Très récemment, une étude intitulée « Épinette rouge, de la tradition à l'utilisation actuelle » a permis de réunir des informations uniques sur les utilisations traditionnelles de cette essence²⁶⁸. On y apprend que de nombreux usages étaient communs aux deux autres essences indigènes du Québec, par exemple l'application de la gomme d'épinette rouge sur les plaies (lavage de la plaie avec le bois) ou sur les zones douloureuses (mal de dos), la préparation de décoction d'écorce pour les problèmes de

²⁶⁸ Chartier C. (2009) Red spruce, from tradition to actual use. Épinette rouge, de la tradition à l'utilisation actuelle. *Phytothérapie*. 7(5): 251-254.

poumons et de gorge, la « purification » du sang et de l'intestin, et post-accouchement (effet tonifiant).

5.2.1.1.4. Les extractibles connus des épinettes du Québec et leurs propriétés biologiques

Les études scientifiques sur le genre *Picea* nous parviennent surtout d'Europe. Les composés polyphénoliques représentent une des principales classes d'extractibles chez ces essences. Il est reconnu que les écorces de ces conifères s'avèrent de bonnes sources de polyphénols (rendements supérieurs à 10% sur base de masse anhydre du bois). Dès les années 1970, les composés polyphénoliques extractibles de l'écorce de nos essences canadiennes ont suscité l'intérêt des scientifiques. Manners et Swan (1971)²⁶⁹ sont les premiers à avoir isolé trois stilbènes (composés polyphénoliques) de l'écorce de plusieurs épinettes du Canada soit : épinette d'Engelmann (*Picea engelmannii*), blanche (*P. glauca*), noire (*P. mariana*), rouge, (*P. rubens*) et Sitka (*P. sitchensis*). Nommément l'astringine, l'isorhapontine et l'isorhapontigénine, ces composés hautement antioxydants²⁷⁰ sont également impliqués dans le système de défense de l'arbre contre termites, et champignons. Ceci démontre à la fois un effet répulsif et termicide²⁷¹ et une capacité à inhiber les enzymes fongiques sécrétés pour dégrader la cellulose du bois²⁷². Une étude sur la distribution de ces composés dans l'arbre révèle leur abondance dans l'écorce mais leur faible teneur dans les racines, les aiguilles ou l'aubier²⁷³. Un quatrième stilbène glycoside, l'astringénine, a pu être isolée spécifiquement dans les épinettes d'Engelmann, de Sitka et dans l'épinette blanche et se retrouve à l'état de trace dans les écorces d'épinettes rouge et noire. Dans son étude, Manners a isolé ces composés le traitement séquentiel suivant : extraction acétonique de l'écorce broyée, puis reprise de la matière extraite séchée après évaporation de l'acétone en la solubilisant dans le méthanol et enfin purification de l'extrait par lavage de la solution méthanolique à l'aide d'éther de pétrole. Cette dernière étape permet notamment d'éliminer les composés

²⁶⁹ Manners G.D. and Swan E.P. (1971) Stilbenes in the barks of five canadian *Picea* species. *Phytochemistry* 10(3): 607-610.

²⁷⁰ Fauconneau B., Waffo-Teguo P., Huguet F., Barrier L., Decendit A. and Merillon J.-M. (1997) Comparative study of radical scavenger and antioxidant properties of phenolic compounds from *Vitis vinifera* cell cultures using in vitro tests. *Life Sciences* 61(21): 2103-2110.

²⁷¹ Shibutani S., Samejima M. and Doi S. (2004) Effects of stilbenes from bark of *Picea glehnii* (Sieb. et Zucc) and their related compounds against feeding behaviour of *Reticulitermes speratus* (Kolbe). *Journal of Wood Science* 50(5): 439-444.

²⁷² Shibutani S., Igarashi K., Samejima M. and Saburi Y. (2001) Inhibition of *Trichoderma* cellulase activity by a stilbene glucoside from *Picea glehnii* bark. *Journal of Wood Science* 47(2): 135-140.

²⁷³ Toscano Underwood C.D. and Pearce R.B. (1991) Astringin and isorhapontin distribution in Sitka spruce trees. *Phytochemistry* 30(7): 2183-2189.

terpéniques (lipophiles) et conserver uniquement les composés polyphénoliques, en particulier les stilbènes. Certains travaux menés en Finlande ont démontré qu'un extrait riche en stilbènes (95-98% de pureté) pouvait être obtenu par extraction de l'écorce de l'épinette de Norvège par simple utilisation du solvant éthanol²⁷⁴.

Tableau 24 Taux d'extractibles dans un extrait enrichi en stilbènes après extraction à l'acétone.²⁷⁵

Essences	% d'extractibles dans l'extrait enrichi en stilbènes.
Épinette noire	4.93 %
Épinette blanche	6.28 %
Épinette rouge	6.47 %

Les recherches menées en Finlande sur l'espèce *Picea abies* ont de plus confirmé que la composition de l'écorce externe diffère significativement de celle de l'écorce interne. Le tableau 25 donne les taux d'extractibles sur base de la masse d'écorce sèche, en fonction (i) du type d'écorces, (ii) du solvant utilisé et (iii) de la saison de récolte. L'écorce interne d'épinette de Norvège contient plus de stilbènes actifs que l'écorce externe. Ce critère est essentiel pour définir toute application industrie spécifique en fonction du type ou de la qualité de l'extrait recherché en bout de ligne.

²⁷⁴ Final Report-Wood Material Science and Engineering Research Programme (2007) Value-added products from barks of Nordic wood species using bioconversion and chemical technology (WoodBiocon), Stockholm.

²⁷⁵ Manners G.D. and Swan E.P. (1971) Stilbenes in the barks of five canadian *Picea* species. *Phytochemistry* 10(3): 607-610.

Tableau 25 Tableau des rendements en extractibles dans les écorces de l'épinette de Norvège, *Picea Abies*²⁷⁶.

Solvent	Winter bark		Summer bark		Major components
	Inner	Outer	Inner	Outer	
Petroleum ether	4.0	3.1	1.8	5.2	Resin acids, fatty acids, terpenoids
CH ₂ Cl ₂	1.2	1.4	0.6	2.6	
Acetone	15.1	7.0	17.6	7.9	Stilbene glucosides, tannin
Water	12.3		10.0		Glucose, fructose, sucrose
			7.0		6.8
Acetone/water (2:1)	1.7	8.0	1.9	7.9	Condensed tannin
Residue	65.7		68.1 ¹⁾		"Cellulose"
			73.5		69.6 ²⁾

1) A dominance of glucan (~70%) with minor or trace amounts of other neutral sugar components.

In addition, a minor amount of a tannin-lignin complex

2) A dominance of a tannin-lignin complex (>50%) with neutral sugars present in fair (glucose) or minor amounts.

Fait intéressant, le rendement de la fraction riche en stilbènes actifs ne varie que très peu selon la saison de récolte d'écorce.

En 2008, on comptait 60 composés phénoliques de divers types isolés des tissus (écorce, bois, nœud du bois, aiguilles, cônes) d'épinette de Norvège, *Picea abies*, celle-ci étant de loin l'essence la plus étudiée à ce jour dans ce genre^{277,278,279,280,281}. Il est nécessaire de la citer dans ce rapport car son bois est aussi exploité pour ses qualités au Québec²⁸². A part les stilbènes, mentionnons d'autres composés polyphénoliques dans l'écorce tels que flavonoïdes (catéchine, épicatechine et taxifoline), proanthocyanidines (tannins condensés)²⁸³ et lignanes (hydroxymatairésinol)²⁸⁴. L'extrait de cette écorce a montré la plus forte capacité à bloquer la peroxydation lipidique, comparativement à d'autres extraits d'écorces incluant le

²⁷⁶ Final Report-Wood Material Science and Engineering Research Programme (2007) Value-added products from barks of Nordic wood species using bioconversion and chemical technology (WoodBiocon), Stockholm.

²⁷⁷ Pan H. and Lundgren L.N. (1995) Phenolic extractives from root bark of *Picea abies*. *Phytochemistry* 39(6): 1423-1428.

²⁷⁸ Mannila E. and Talvitie A. (1992) Stilbenes from *Picea abies* bark. *Phytochemistry* 31(9): 3288-3289.

²⁷⁹ Li S.-H., Niu X.-M., Zahn S., Gershenzon J., Weston J. and Schneider B. (2008) Diastereomeric stilbene glucoside dimers from the bark of Norway spruce (*Picea abies*). *Phytochemistry* 69(3): 772-782.

²⁸⁰ Lindberg L.E., Willför S.M. and Holmbom B.R. (2004) Antibacterial effects of knotwood extractives on paper mill bacteria. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 31(3): 137-147.

²⁸¹ Roy J. and Bergeron J.M. (1990) Role of phenolics of coniferous trees as deterrents against debarking behavior of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*). *Journal of Chemical Ecology* 16(3): 801-808.

²⁸² Mottet M.-J., Daoust G. (2007) Pour du bois de qualité en plantation : l'épinette de Norvège demeure un bon choix. *Avis de recherche forestière*, n° 6.

²⁸³ Tišler V., Galla E. and Pulkkinen E. (1986) Fractionation of hot water extract from *Picea abies* Karst. bark. *European Journal of Wood and Wood Products* 44(11): 427-431.

²⁸⁴ Pan H. and Lundgren L.N. (1995) Phenolic extractives from root bark of *Picea abies*. *Phytochemistry* 39(6): 1423-1428.

pycnogéno[®] (extrait du pin maritime, un antioxydant commercialisé)²⁸⁵. Les capacités antioxydantes des extraits d'écorces d'épinette blanche et de feuilles d'épinette noire ont également été quantifiées²⁸⁶. Cette activité particulière permet de positionner ces extraits dans des applications soit comme additifs alimentaires ou encore comme stabilisateurs de crèmes cosmétiques, là où toute rancidité doit être inhibée. De plus, le bois, les nœuds du bois et les branches d'épinette noire (*Picea mariana*) et d'épinette blanche (*Picea glauca*) contiennent des lignanes qui sont de puissants antioxydants²⁸⁷. La composition en polyphénols des jeunes pousses de l'épinette blanche (*Picea glauca*) est également détaillée dans une étude réalisée en 1997²⁸⁸.

Au-delà des propriétés antioxydantes, d'autres activités biologiques sont liés à la présence des polyphénols dans les extraits d'écorce. Dans le cas de l'épinette blanche (*Picea glauca*) et de l'épinette de Norvège, de fortes activités antifongiques ont été déterminées^{289,290}. Les extraits du bois de cœur et de l'écorce interne de l'épinette blanche (*Picea glauca*) se sont également avérés antimicrobiens envers plusieurs souches de bactéries²⁹¹.

On remarque dans notre approche bibliographique du genre *Picea* très peu de données sur la composition en extractibles des écorces d'épinette noire (*Picea mariana*) ou d'épinette rouge (*Picea rubens*) qui représentent les deux autres essences indigènes du Québec. A cet effet, de récents travaux du Laboratoire de Chimie du Bois du CRB se sont intéressés particulièrement aux extraits polyphénoliques d'écorce de l'épinette noire (*Picea mariana*) (voir paragraphe suivant). Concernant l'épinette rouge, il existe des données sur la chimie des feuilles²⁹² et des

²⁸⁵ Pietarinen S., Willför S., Ahotupa M., Hemming J. and Holmbom B. (2006) Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. *Journal of Wood Science* 52(5): 436-444.

²⁸⁶ McCune L.M. and Johns T. (2002) Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the Indigenous Peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology*. 82(2-3): 197-205.

²⁸⁷ Willför S., Eklund P., Saholm R., Reunanen M., Sillanpar., Von Schoultz S., Hemming J., Nisula L. and Holmbom B. (2005) Bioactive phenolic substances in industrially important tree species. Part 4: Identification of two new 7-hydroxy divanillyl butyrolactol lignans in some spruce, fir, and pine species. *Holzforschung* 59(4): 413-417.

²⁸⁸ Kraus C. and Spiteller G. (1997) Comparison of phenolic compounds from galls and shoots of *Picea glauca*. *Phytochemistry* 44(1): 59-67.

²⁸⁹ Evensen P.C., Solheim H., Høiland K. and Stenersen J. (2000) Induced resistance of Norway spruce, variation of phenolic compounds and their effects on fungal pathogens, pp. 97-108.

²⁹⁰ Yang D.-Q., Wang X.-M., Shen J. and Hui W. (2004) A rapid method for evaluating antifungal properties of various barks. *FPJ* 54(6).

²⁹¹ Ritch-Krc E.M., Turner N.J. and Towers G.H.N. (1996) Carrier herbal medicine: an evaluation of the antimicrobial and anticancer activity in some frequently used remedies. *Journal of Ethnopharmacology*. 52(3): 151-156.

²⁹² Friedland A., Hawley G. and Gregory R. (1988) Red spruce (*Picea rubens* Sarg.) foliar chemistry in Northern Vermont and New York, USA. *Plant and Soil* 105(2): 189-193.

aiguilles. Notamment, les variations de l'activité antioxydante des extraits d'aiguilles en fonction des saisons ont été déterminées²⁹³.

Dans les écorces d'épinette, la résine contient aussi des extractibles lipophiles. Des composés terpéniques ainsi que des acides gras et des alcanes ont isolés dès 1972²⁹⁴. Les acides diterpéniques de la résine isolés dans le phloème de l'épinette blanche (*Picea glauca*) jouent d'ailleurs un rôle important dans la résistance de l'arbre contre les attaques de pathogènes et d'insectes, en combinaison avec l'action des polyphénols²⁹⁵. Notamment, une étude sur l'épinette blanche (*Picea glauca*) identifie les terpènes comme responsables de la résistance de l'essence contre les charançons²⁹⁶. On trouve peu de données récentes sur la composition en terpénoïdes des écorces chez les trois épinettes indigènes ; les informations portent surtout sur la composition de l'huile essentielle obtenue à partir d'autres tissus.

5.2.1.1.5. Les huiles essentielles d'épinette

Les épinettes tout comme de nombreux autres conifères, ont fait l'objet de plusieurs études relativement aux propriétés de leur huile essentielle, huile composée à la fois de terpènes et de polyphénols. Extraite par hydro-distillation des aiguilles dans la plupart des cas, on peut aussi l'obtenir d'autres tissus, tels que les feuilles ou les écorces. Nous n'avons pas identifié de travaux sur les rendements en huile essentielle en fonction du tissu utilisé. Cependant, on sait que les rendements en huile sont généralement faibles. Au Québec, c'est principalement l'huile essentielle d'épinette noire (*Picea mariana*) obtenue à partir des aiguilles ou des feuilles (tissus les plus accessibles) qui est largement commercialisée et bien reconnue pour ses propriétés thérapeutiques (affections bronchiques, douleurs articulaires et rhumatismales, effet tonique). Elle permet de traiter des maladies de la peau telles que l'acné, le psoriasis ou l'eczéma sec. L'huile essentielle d'épinette blanche (*Picea glauca*) a également un effet tonique et agit apparemment sur le psoriasis. En aromathérapie, elle agit sur les fonctions bronchiques. L'action mucolytique de certaines huiles essentielles provient exclusivement de 2 familles de molécules: les cétones terpéniques et les lactones sesquiterpéniques. L'huile obtenue à partir des aiguilles d'épinette rouge est dite neurotonique et anti-infectieuse tandis que celle extraite des aiguilles d'épinette blanche est reconnue pour soigner la grippe, les

²⁹³ Nageswara R M., A H., Ruth G A., R. G A. and S F. (1991) Seasonal changes in antioxidants in red spruce (*Picea rubens* Sarg.) from three field sites in the northeastern United States, pp. 331-338.

²⁹⁴ Norin T. and Winell B. (1972) Extractives from the bark of common spruce, *Picea abies* L. Karst. Acta Chemica Scandinavica 26: 2289-2296.

²⁹⁵ Kersten P., Kopper B., Raffa K. and Illman B. (2006) Rapid Analysis of Abietanes in Conifers. Journal of Chemical Ecology 32(12): 2679-2685.

²⁹⁶ Nault J.R., Manville J.F. and Sahota T.S. (1999) Spruce terpenes: expression and weevil resistance. Canadian Journal of Forest Research 29: 761-767.

problèmes pulmonaires et soulager la femme après accouchement. Les huiles essentielles sont largement connues pour leur activité antimicrobienne et exhibent parfois une activité antioxydante non négligeable. Récemment, Chartier (2009) a comparé la composition en terpènes des huiles essentielles obtenues à partir des trois essences indigènes du Québec²⁹⁷. Le tableau 26 donne la liste des monoterpènes isolés dans ces huiles ; la plupart sont notamment connus pour leurs propriétés biologiques.

Tableau 26 Tableau extrait de l'article de Chartier paru en 2009.

Tableau 2. Principaux constituants en pourcentage des huiles essentielles de <i>Picea mariana</i> de <i>Picea rubens</i> et de <i>P. glauca</i>				
Identification	Type de molécule	<i>P. mariana</i>	<i>P. rubens</i>	<i>P. glauca</i>
Acétate de bornyle	Ester monoterpénique	35	36,68	12,55
Camphène	Monoterpène	18	19,64	8,96
Alpha-pinène	Monoterpène	18	9,71	14,12
Tricyclène	Monoterpène	4,6	1,54	0,61
Béta-pinène	Monoterpène	3,15	8,54	20,63
Santène	Monoterpène	1,12	2,7	0
Δ -3-carène	Monoterpène	3,08	3,29	2,41
Limonène	Monoterpène	5,53	12,93	7,44 limonènes + 1,8-cinéole
Myrcène	Monoterpène	3,27	3,50	4,44
β -phellandrène	Monoterpène	1,39	0	3,53
Pipéritone	Cétone monoterpénique	1,26	0	0
Bornéol		0	1,85	2,26
Camphre	Cétone	0	0	13,36
Esters monoterpéniques		34,41	40,7	
Alcools monoterpéniques		1,5	2,4	
Monoterpènes		55,69	50,43	

Dans le présent mandat visant à élaborer le potentiel de développement de l'industrie forestière québécoises en rapport avec les extractibles, il est essentiel d'inclure effectivement ces huiles essentielles que l'on obtient par hydro-distillation. Cela dit, les faibles rendements de ces huiles en général et dans les écorces en particulier ne nous permettent pas de proposer cette avenue comme celle à prioriser dans la filière de valorisation des écorces. Rappelons que les données disponibles indiquent que les extraits d'écorce obtenus par extraction à l'eau ou aux solvants organiques à froid, sont déjà de l'ordre de 15 à 25% pour certaines essences québécoises.

5.2.1.1.6. Les recherches menées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

²⁹⁷ Chartier C. (2009) Red spruce, from tradition to actual use. *Épinette rouge*, de la tradition à l'utilisation actuelle 7(5): 251-254.

Les projets de recherche du Pr. Stevanovic ont particulièrement visé la composition en polyphénols des extraits d'écorce de l'épinette noire, *Picea mariana* de même que leurs propriétés biologiques.

Travaillant sur l'écorce d'épinette noire, Diouf P.N. et al en 2009²⁹⁸ ont notamment caractérisé les proanthocyanidines (des tannins condensés) présentes dans l'extrait à l'eau chaude. Les auteurs démontrent que la fraction riche en proanthocyanidines oligomériques (petits polymères) est une source valable d'antioxydants naturels, avec des activités parfois supérieures à celle du BHT qui est un antioxydant synthétique répandu. Cette étude confirme également la capacité anti-inflammatoire de la fraction proanthocyanidines ; on y apprend aussi que d'autres polyphénols sont en cause tels que la taxifoline (un flavonoïde). Dans leur conclusion, les auteurs notent que l'extrait brut d'écorce est utilisable sans purification, ce qui serait une voie moins onéreuse pour une production de masse menant à certaines applications thérapeutiques. Additionnellement, l'utilisation traditionnelle de cet extrait comme supplément alimentaire sur la base de son innocuité permet d'envisager son introduction sur plusieurs marchés connexes. Des recherches s'imposent toutefois afin de mieux cerner la biodisponibilité des composés actifs *in vivo*.

D'autres études se poursuivent actuellement au même laboratoire, sur les extraits d'écorces de cette essence largement répandue au Québec. Notamment, une thèse de doctorat traite de l'activité anti-psoriasique des extractibles de l'écorce et nous disposons d'ores et déjà de nombreux résultats quant à la toxicité et l'activité anti-proliférative de ces extraits. Une étude menée en parallèle se penche sur la composition en polyphénols simples (flavonoïdes, stilbènes, acides phénoliques etc) de l'extrait actif.

²⁹⁸ Diouf P.N., Stevanovic T. and Cloutier A., 2009. Study on chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of hot water extract from *Picea mariana* bark and its proanthocyanidin-rich fractions. *Food Chem.* 113(4): 897-902.

5.2.1.2. Le pin : genre *Pinus*

5.2.1.2.1. La diversité des espèces présentes au Canada



Figure 20 : Photo d'un pin gris (*Pinus banksiana*)
(source : <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/trees/pinusbank.html>)

On dénombre 16 espèces du genre *Pinus* identifiées au Canada. Parmi les espèces introduites, citons *Pinus aristata*, *Pinus mugo*, *Pinus nigra* ainsi que *Pinus sylvestris*, cette dernière étant une espèce totalement naturalisée.

- Pin à blanche écorce (*Pinus albicaulis*)
- Pin argenté (*Pinus monticola*)
- Pin aristé (*Pinus aristata*)
- Pin blanc (*Pinus strobus*)
- Pin Chilien (*Pinus radiata*)
- Pin flexible (*Pinus flexilis*)
- Pin gris (*Pinus banksiana*)
- Pin mugo (*Pinus mugo*)
- Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra*)
- Pin pleureur de l'Himalaya (*Pinus Wallichiana*)
- Pin ponderosa (*Pinus ponderosa*)
- Pin rigide (*Pinus rigida*)
- Pin rouge (*Pinus resinosa*)
- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*)
- Pin tordu (*Pinus contorta* var. *contorta*)
- Pin tordu latifolié (*Pinus contorta* var. *latifolia*)

Les essences les plus commercialisées sont les pins rouge, blanc et gris, de la famille des Pinacées. Le pin gris s'affiche comme l'essence la plus répandue dans la zone boréale, en particulier dans la sapinière à bouleaux blancs et atteint sa limite dans le domaine de la

peSSIÈRE à lichens. Les pins blanc et rouge sont surtout présents dans la forêt décidue dans la sous-zone de l'érablière à bouleaux jaunes²⁹⁹.

5.2.1.2.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière

Pin gris (*Pinus banksiana*)

On trouve celui-ci surtout en Abitibi, au Nord de la Mauricie et au Saguenay-lac-St-Jean ; par contre, il est en plantation un peu partout dans la province. Le pin gris représente un volume annuel de bois rond à transformer de plus de 2,5 millions de m³. Son bois nouveau contient moins de résine que les autres espèces³⁰⁰. Présentant un faible retrait au séchage, il présente une bonne stabilité dimensionnelle lorsque bien séché. Sa faible durabilité naturelle très inférieure au cèdre blanc, est considérée tout de même supérieure à celle de l'épinette blanche, par exemple. Le bois de cœur du pin gris est réputé comme peu perméable et même résistant à l'imprégnation. On l'utilise couramment pour fabriquer des poteaux, piquets, clôtures, barrières, moulures, planchers, escaliers, panneaux lamellés-collés, portes et fenêtres, tablettes, étagères, meubles etc³⁰¹... Le bois du pin gris peut se traiter à haute température.

Pin rouge (*Pinus resinosa*)

Le pin rouge a été l'une des premières essences exploitée en Amérique du nord. Dès 1670, l'intendant Talon le fait récolter pour la construction navale. Le bois du pin rouge, plus rouge et plus résineux que celui du pin blanc, est reconnu comme dur, léger et résistant. On l'utilise le plus souvent pour le bois de construction (charpente), les poteaux, les boîtes de portes et fenêtres, les piquets, les rivets des voies de chemin de fer, pâtes et papiers etc... Il possède une durabilité moyenne lorsqu'il est en contact avec le sol et souvent traité avec des préservatifs. Malgré un fort retrait il est facile à sécher³⁰². Le pin rouge a été largement utilisé dans les plantations du Québec. Ces plantations sont parmi les plus productives mais

²⁹⁹ http://mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/stat_edition_complete/chap01.pdf

³⁰⁰ FPInnovations-Division Forintek (2000) Wood Characteristics, Processing and End Uses of Jack Pine.

³⁰¹ Giguère M. (2008) Le Pin gris ou *Pinus banksiana*. Colloque sur l'utilisation des essences résineuses comme bois d'apparence. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.

³⁰² http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/SoftwoodNA/pdf_files/pinusresinosaeng.pdf

aujourd'hui, le pin rouge est peu mis en terre à cause du marché plutôt faible pour son bois de petite et moyenne dimension³⁰³.

Pin blanc (*Pinus strobus*)

D'une grande longévité (200-400 ans) le pin blanc est le plus majestueux des arbres de l'est du Canada. Les produits commerciaux qui en sont issus présentent une très grande valeur économique et sont fort appréciés en ébénisterie. Abondant au début du XXe siècle, le pin blanc a été utilisé pour la construction d'habitations, de quais et de navires, notamment pour les mâts, de diverses structures utilitaires de même que pour la réalisation d'œuvres d'art. Les ressources pour cette essence ont diminué graduellement au fil des ans, et aujourd'hui près de 90% des réserves disponibles se situent dans l'Outaouais et l'Abitibi-Témiscamingue. Encore aujourd'hui, le pin blanc représente le bois d'œuvre le plus recherché de l'est du Canada. Rappelons que la rareté de la matière première et le prix de ces produits finis ont favorisé l'élaboration de plusieurs substituts, notamment dans la catégorie des moulures et cadrages³⁰⁴.

5.2.1.2.3. Utilisations traditionnelles

Les espèces appartenant à la famille des Pinacées sont utilisées en médecine folklorique pour diverses applications. Parmi les essences indigènes du Québec, le pin blanc (*Pinus strobus*) et le pin rouge (*Pinus resinosa*) sont inclus par Jacques Rousseau parmi les huit espèces de conifères représentant le fameux « Annedda », autrement dit « l'arbre de vie »³⁰⁵. Ce mystérieux « arbre de vie », décrit comme un grand arbre de la région de Québec qui garde ses feuilles l'hiver, a guéri du scorbut plusieurs membres explorateurs de l'équipe de Jacques Cartier lors de son second voyage au Canada en 1536. En effet, pour remédier au mal qu'il juge endémique, Cartier se résout à consulter les indigènes. Un Iroquois lui conseille de préparer une décoction d'écorce et de feuilles de l'« anneda », aujourd'hui associé à la famille des arborvidées (genre *Thuja*)³⁰⁶. Le pin blanc (*Pinus strobus*) se nommait *handehta* chez les Wyandotes et *ohnehda* chez les Mohawks. Une espèce de pin non identifiée (aussi bien le pin rouge, *Pinus resinosa*, que le pin blanc) se nommait chez les Hurons *andeta* ou *ondata*. Dans sa recherche sur cette possible identité, Jacques Rousseau écarte le pin gris

³⁰³ <http://www.pinusresinosa.com/docs/section5.pdf>

³⁰⁴ <http://www.pinusresinosa.com/docs/section5.pdf>

³⁰⁵ Rousseau J. (1954) L'annedda et l'arbre de vie. *Revue d'histoire de l'Amérique française* 8(2): 171-212.

³⁰⁶ Durzan D.J. (2009) Arginine, scurvy and Cartier's "tree of life". *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 5(I): 5.

(*Pinus banksiana*) car les peuplements les plus rapprochés de Québec poussaient 50 kilomètres en aval du lieu où l'équipe de Cartier hibernait lorsque les épisodes de scorbut s'étaient déclarés.

Pin gris (*Pinus banksiana*)

Plusieurs espèces de la forêt boréale étaient utilisées pour leurs propriétés anti-inflammatoires par les peuples autochtones d'Amérique du Nord et *Pinus banksiana* en fait partie. Les cônes bouillis servaient à fabriquer un baume anti-inflammatoire, alors que les feuilles étaient utilisées en aromathérapie pour soigner les malades dans le coma et pour “nettoyer” les poumons congestionnés³⁰⁷. La gomme était mâchée pour soigner le rhume et son goût était réputé excellent. On fabriquait à partir d'écorce interne bouillie et pilée un cataplasme applicable sur les plaies; cette écorce était aussi mangée telle quelle³⁰⁸. L'huile et la résine de pin étaient utilisées comme désinfectants, antiseptiques et insecticides³⁰⁹. Le thé fabriqué avec l'écorce était prescrit pour traiter les problèmes de respiration³¹⁰. Selon Arnason³¹¹, on constate qu'en regard des multiples des utilisations traditionnelles du pin rouge (*Pinus resinosa*) et du pin blanc (*Pinus strobus*), seuls les Ojibwas avaient conçu des applications pour le pin gris (*Pinus banksiana*). Ceux-ci utilisaient les feuilles comme tonique ainsi que les décoctions d'écorces, toutefois mélangées avec celles d'autres essences dont le pin blanc (*Pinus strobus*).

Pin rouge (*Pinus resinosa*)^{312,313}

Le pin rouge (*Pinus resinosa*) a été reconnu par plusieurs peuples indigènes pour ses propriétés thérapeutiques. Les Algonquins utilisaient l'écorce interne sous forme de cataplasme posé sur la poitrine pour soigner un fort état grippal. De leur côté les Ojibwas

³⁰⁷ <http://wisplants.uwsp.edu/ethno/PINBAN.pdf>

³⁰⁸ Kuhlein H.V. and Turner N.J. (1991) Traditional plant foods of canadian indigenous peoples. Nutrition, Botany and Use., Gordon and Breach, Canada.

³⁰⁹ Burchill C. (2008) Jack pines in Manitoba Canoe country. Padle Manitoba.
http://home.cc.umanitoba.ca/~burchil/pm_canoe/pine_mb_canoe.pdf

³¹⁰ Karst A. (2010) Conservation value of the North American Boreal Forest from an ethnobotanical Perspective. Canadian Boreal Initiative, David Susuki Foundation and Boreal Songbird Initiative, Ottawa, ON; Vancouver, BC; Seattle, WA.

³¹¹ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Can. J. Bot. 59: 2189-2325.

³¹² Moerman D.E. (1998) Native American Ethnobotany, Timber Press.

³¹³ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Can. J. Bot. 59: 2189-2325.

séchaient et broyaient les feuilles pour préparer une poudre comme tonique ou inhalateur afin de soigner les maux de tête. Curieusement, les Crees fabriquaient un fumigène à partir des feuilles pour réveiller les patients dans le coma et soignaient la grippe à partir d'un cataplasme fait d'écorce interne.

Pin blanc (*Pinus strobus*)

Les autochtones considéraient le pin blanc (*Pinus strobus*) comme une source de remèdes. Ils consommaient l'extrait d'écorce interne bouillie qui contient des tannins, comme astringent contre la diarrhée, mais principalement ils trempaient l'écorce pour ensuite l'appliquer sur les blessures à cause de ses effets cicatrisants et ses propriétés antiseptiques³¹⁴. Les Abenakis, les Cree et les Maritimes utilisaient également l'écorce interne comme remède contre la toux soit sous forme de décoction soit en cataplasme sur le torse. Les décoctions d'écorces étaient également utilisées contre une fatigue générale mais, en combinaison avec celles d'autres essences. Un thé des aiguilles est dit « riche en vitamines » et prévient la grippe³¹⁵. Dans la revue de littérature d'Arnason, les Ojibwas utilisaient essentiellement les cônes, l'écorce et les feuilles séchées pour soigner l'état grippal alors que pour traiter les blessures ils appliquaient une pâte humide faite de morceaux de bois d'aubier et d'écorces bouillies ensemble et pillés. Le tableau suivant regroupe l'ensemble des données que nous avons pu récolter sur les utilisations traditionnelles des diverses parties du pin blanc (*Pinus strobus*).

³¹⁴ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Can. J. Bot.* 59: 2189-2325.

³¹⁵ http://plant-species.suite101.com/article.cfm/white_pine_pinus_strobus

Tableau 27 Utilisations traditionnelles des diverses parties du pin blanc, *Pinus strobus*.

Partie de l'arbre	Préparation	Utilisations
Aiguilles	Thé, infusion	Traitement de l'état grippal, maux de gorge, problèmes de peau, fatigue générale (physique et mentale), scorbut.
Ramilles	Thé, infusion	Problèmes pulmonaires, désordres rénaux.
Écorce	Thé, décoction	Traitement des rhumatismes, arthrite, symptômes de la ménopause, problèmes de respiration, inflammation
Écorce interne	Grattée	Alimentation

Les données de Moerman³¹⁶ supportent la réputation du pin blanc comme vraie source de remèdes ; la diversité des tissus de l'arbre qui sont utilisables dépasse celle des autres essences présentes au Québec. Ajoutant aux données d'Arnason, cet auteur fait bien ressortir l'utilisation dermatologique (vs acné, pathogènes) des composés extraits de l'aubier et l'action anti-inflammatoire de ces mêmes extraits (vs coupures profondes). Il indique également que plusieurs peuples utilisaient les décoctions de feuilles en médecine pédiatrique (bain des enfants de moins de 3 ans), ce qui s'applique uniquement pour le pin blanc.

5.2.1.2.4. Les extractibles connus des pins du Québec et leurs propriétés biologiques

La multitude des données ethnopharmacologiques relativement à sur ces trois essences de pins indigènes du Québec, implique que ces essences sont d'un grand intérêt en développement de produits pour la pharmaceutique, la cosmétique et la nutraceutique. L'écorce de ces essences de conifères – des candidats au terme d' « arbres de vie » - riche en acide ascorbique (vitamine C) a connu une large utilisation médicinale et ceci constitue une piste menant à la découverte de nouveaux agents thérapeutiques naturels.

³¹⁶ Moerman, D. E. (1998). *Native American Ethnobotany*, Timber Press.

Dans ce chapitre, nous effectuons une revue des extractibles connus et des propriétés biologiques des extraits des divers tissus des trois essences de pins présentes au Québec, et utilisées par l'industrie forestière. Nous élargissons la revue des données existantes pour toucher tous les composés extraits de l'écorce.

Les informations sur les extractibles des pins du Québec remontent aux années 1960, en particulier sur l'écorce du pin gris (*Pinus banksiana*). Par exemple, l'extraction de cette au benzène a permis d'obtenir 4.2% de rendement en extractibles lipophiles³¹⁷. L'étude spectrale des composés présents a livré des molécules acides de la classe des cires, des acides gras, des acides de résine, des polyphénols ; les auteurs ont mis en évidence le β -sitostérol et le dihydrostérol. Seul ou en combinaison avec d'autres phytostérols, le β -sitostérol réduit le taux de cholestérolémie sanguine, en inhibant l'absorption du cholestérol par l'intestin. Bower et Rowe ont identifié pour la première fois dans l'écorce de pin gris, des labdanes diterpènes tels que l'oxyde de (+)-13-epimanoyl mais aussi du torulosol et ses dérivés et des triterpènes dérivés du serratenediol. Par ailleurs des études plus récentes menées sur les extraits d'écorces d'autres espèces (genre *Picea* et *Thuja*) ont démontré que l'oxyde de (+)-13-epimanoyl présente des propriétés antitumorales^{318,319}. Certains autres composés terpéniques tels que le torulosol et ses dérivés ont déjà été identifiés dans des extraits qui présentent des activités antifongiques³²⁰. Dans l'extrait au benzène de l'écorce de pin gris, on a démontré la présence de quelques polyphénols hydrophobes tels que le 3-5, diméthoxystilbène (un éther de la diméthyl-*trans*-pinosylvine) et le 3,5-diméthoxy-*cis*-stilbène (éther de la diméthyl-*cis*-pinosylvine)³²¹.

Ces mêmes stilbènes ainsi que d'autres composés polyphénoliques tels que la pinosylvine, le pinobanksine, et la (-)-norachélogénine ont été mis en évidence dans un extrait méthanolique du bois du pin rouge (*Pinus resinosa*). Dans cette étude, Simard et al. ont prouvé l'activité cytotoxique de ces extraits et en particulier, leur effet sélectif sur les cellules du cancer du

³¹⁷ Bower C.L. and Rowe J.W. (1967) Extractives of jack pine bark: Occurrence of (+)-13-epimanoyl oxide and related labdane diterpenes. *Phytochemistry* 6(1): 151-153.

³¹⁸ Kinouchi Y., Ohtsu H., Tokuda H., Nishino H., Matsunaga S. and Tanaka R. (2000) Potential antitumor-promoting diterpenoids from the stem bark of *Picea glehni*. *J. Natural Products* 63(6): 817-820.

³¹⁹ Iwamoto M., Minami T., Tokuda H., Ohtsu H. and Tanaka R. (2003) Potential antitumor promoting diterpenoids from the stem bark of *Thuja standishii*. *Planta Medica* 69(1): 69-72.

³²⁰ Meneses E.A., Durango D.L. and García C.M. (2009) Antifungal activity against postharvest fungi by extracts from Colombian propolis, *scielo*, pp. 2011-2017.

³²¹ Rowe J.W., Bower C.L. and Wagner E.R., 1969. Extractives of jack pine bark: Occurrence of *cis*- and *trans*-pinosylvin dimethyl ether and ferulic acid esters. *Phytochemistry* 8(1): 235-241.

poumon³²². Les polyphénols de type pinosylvine, son éther monométhylé de même que les flavones (-)-pinocembrine et (+)-pinobanksine sont présents dans le bois de presque toutes les essences de pins³²³. On reconnaît qu'en général la composition du bois diffère beaucoup de celle de l'écorce. Cependant, quelques composés se retrouvent simultanément dans plusieurs tissus de l'arbre. Dans l'écorce du pin blanc (*Pinus strobus*), une étude de 2001 a identifié la présence de stilbénoloïdes (polyphénols) synthétisés par l'arbre pour lutter contre l'attaque des parasites (nématodes, ou vers ronds)³²⁴. Ces polyphénols qui jouent le rôle d'agents protecteurs de l'arbre et appelés phytoalexines, possèdent des propriétés biologiques. Les travaux de Hanawa et al en 2001 ont permis d'identifier des composés antifongiques tels que la 3-*O*-diméthyl-dihydropinosylvine et la (2*S*)-pinocembrine. Les mêmes auteurs montrent que ces composés sont essentiellement présents dans l'écorce et ne sont qu'en faible concentration dans le bois. Le mode d'action des composés phénoliques comme mécanisme de défense contre insectes ou microorganismes a fait l'objet de plusieurs recherches et ceci indépendamment de la partie de l'arbre. En 1997, Beninger et al. démontrent que les aiguilles des pins gris, rouge et blanc contiennent plusieurs composés phénoliques, dont certains flavonols (Tab. 28), permettant de lutter contre l'invasion de la lymantrie spongieuse³²⁵.

Tableau 28 Tableau extrait de l'article de Beninger et al. 1997 détaillant la composition en flavonol glycoside dans l'extrait éthanolique des aiguilles de plusieurs essences de pin : Jack (pin gris), red (pin rouge), scotch (pin sylvestre), white (pin blanc). + : PRÉSENCE POSITIVE – : NON DÉTECTÉE

Flavonol	Pine species			
	Jack	Red	Scotch	White
Kaempferol 3- <i>O</i> -glucoside	+	–	–	–
Kaempferol 3- <i>O</i> -galactoside	+	–	–	–
Kaempferol 3- <i>O</i> - <i>p</i> -coumaroylglucoside	+	–	–	–
Quercetin 3- <i>O</i> -glucoside	+	+	+	+
Quercetin 3- <i>O</i> -galactoside	+	–	–	–
Quercetin 3- <i>O</i> - <i>p</i> -coumaroylglucoside	+	–	–	–
Quercetin 3- <i>O</i> -rutinoside	+	+	+	+
6-Methylkaempferol-3-glucoside	+	+	+	–

Le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) demeure l'essence dont la nature des polyphénols extractibles de l'écorce ou du bois a fait l'objet du plus grand nombre d'études. Les extraits d'écorce de cette essence contiennent une vingtaine de polyphénols dont des

³²² Simard F., Legault J., Lavoie S., Mshvildadze V. and Pichette A. (2008) Isolation and identification of cytotoxic compounds from the wood of *Pinus resinosa*. *Phytotherapy Research* 22(7): 919-922.

³²³ Norin T. (1972) Some aspects of the chemistry of the order Pinales. *Phytochemistry* 11(4): 1231-1242.

³²⁴ Hanawa F., Yamada T. and Nakashima T. (2001) Phytoalexins from *Pinus strobus* bark infected with pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Phytochemistry* 57(2): 223-228.

³²⁵ Beninger C.W. and Abou-Zaid M.M. (1997) Flavonol glycosides from four pine species that inhibit early instar gypsy moth (*Lepidoptera*: *Lymantriidae*) development. *Biochemical Systematics and Ecology* 25(6): 505-512.

proanthocyanidines (tannins condensés), des dérivés de la catéchine, des stilbénoides (glycosilés), et des flavonoïdes³²⁶ Un article paru en 2004 décrit également la composition en polyphénols de son extrait à l'acétone et met en évidence sa haute activité anti-inflammatoire³²⁷.

Tableau 30 Tableau des composés polyphénoliques identifiés dans l'extrait d'écorces du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*).

compound	[M - H] ⁻ ion <i>m/z</i>	fragment ion <i>m/z</i>	ref
7, taxifolin 3- <i>O</i> -β-D-glucoside	465	303 [A] ⁻ , 285 [A - H ₂ O] ⁻	4
8, taxifolin	303	285 [M - H ₂ O] ⁻	4
9, <i>p</i> -hydroxybenzoic acid glucoside	299	137 [A] ⁻	4
10, procyanidin trimer	865		5, 6, 64
11, vanillic acid glucoside	229	167 [A] ⁻	4
12, catechin glucoside	451	289 [A] ⁻	4, 6
13, procyanidin dimer	577		5, 6, 64
14, catechin derivative ^b	465		4, 46
15, catechin	289		4, 6
16, procyanidin trimer	865		5, 6, 64
17, β-hydroxypropiovanillone glucoside	357	177 [A - H ₂ O] ⁻	compound 1, 23
18, ferulic acid glucoside	355	193 [A] ⁻	compound 4, 4
19, procyanidin trimer	865		5, 6, 64
20, epicatechin	289		6
21, procyanidin dimer	577		5, 6, 64
22, lignan glucoside	507	345 [A] ⁻	4, 65
23, procyanidin tetramer	1153		5, 6, 64
24, procyanidin trimer	865		5, 6, 64
25, lignan xyloside	495	363 [A] ⁻	compound 3, 4, 65
26, procyanidin trimer	865		5, 6, 64
27, procyanidin dimer	577		5, 6, 64
28, lignan rhamnoside	491	345 [A] ⁻	4, 65

^a The numbers of the compounds refer to the peak numbers in Figure 2. A = aglycon. ^b Coeluted together with an unidentified compound.

Parmi les essences indigènes, des travaux de maîtrise³²⁸ ont démontré que les extraits de racine de pin gris possèdent une activité anticancéreuse intéressante.

L'activité antioxydante des extraits d'écorce de pins a été mise en valeur dans le cas du pin maritime français (*Pinus maritima*) dont l'extrait d'écorce purifié est mis en marché sous le nom de Pycnogéno³²⁹. Cet extrait est un mélange de flavonoïdes, principalement des procyanidines et des acides phénoliques. Il présente une forte capacité à piéger les radicaux libres générés par l'organisme lors d'un stress oxydatif (provoqué par le vieillissement, la pollution, l'alcool, le tabac, l'exposition aux UV ou aux agents chimiques divers) et impliqués

³²⁶ Pan H. and Lundgren L.N. (1996) Phenolics from inner bark of *Pinus sylvestris*. *Phytochemistry* 42(4): 1185-1189.

³²⁷ Karonen M., Hamalainen M., Nieminen R., Klika K.D., Loponen J., Ovcharenko V.V., Moilanen E. and Pihlaja K. (2004) Phenolic Extractives from the Bark of *Pinus sylvestris* L. and Their Effects on Inflammatory Mediators Nitric Oxide and Prostaglandin E2. *J. Agric. Food Chem.* 52(25): 7532-7540.

^{328,328} Bradette Hébert M.-E. (2008) Étude du potentiel biopharmaceutique du *Solidago Canadensis* Linné. Mémoire de Maîtrise, Université du Québec, Chicoutimi.

³²⁹ Packer L., Rimbach G. and Virgili F. (1999) Antioxidant activity and biologic properties of a procyanidin-rich extract from pine (*pinus maritima*) bark, pycnogenol. *Free Radical Biology and Medicine* 27(5-6): 704-724.

dans des pathologies telles que l'Alzheimer, les maladies cardiovasculaires, l'arthrite, certains cancers. Cet extrait sert souvent de standard de référence pour évaluer l'activité antioxydante d'un nouvel extrait naturel. Cet extrait est commercialisé sous le nom d'Oligopin® et s'utilise comme nutraceutique et également en cosmétique.

Les données récentes sur la composition en extractibles de l'écorce des trois essences de pins indigènes du Québec demeurent toutefois rares ; on constate donc de nouveau clairement la nécessité d'étendre les recherches scientifiques visant l'identification des extractibles bioactifs présents dans ce tissu. Par contre des données plus récentes sont disponibles sur la composition chimique et les propriétés antioxydantes^{330,331} des extraits hydrophiles des nœuds du bois : des teneurs de 6.8% d'extractibles ont été calculés dans les nœuds des pins gris et rouge contre 19% dans ceux du pin blanc. Dans le cas du pin gris, ces extraits possèdent notamment la capacité de limiter les phénomènes d'oxydation dans les cellules humaines³³².

5.2.1.2.5. Les huiles essentielles des pins

L'huile essentielle de pin est fort connue et en particulier celle du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Rappelons ici que l'huile essentielle est se compose d'extractibles - en grande partie des terpènes et quelques polyphénols - mais qu'elle s'obtient en plus grande quantité à partir des aiguilles ou des bourgeons par hydrodistillation, qui demeure un procédé énergivore. L'huile essentielle de pin sylvestre est un antiseptique puissant des voies respiratoires, urinaires et hépatiques, et s'avère aussi un stimulant des glandes corticosurrénales. La composition de l'huile essentielle extraite des aiguilles des pins blanc, rouge et gris montre la présence de terpènes tels que le β -pinène, α -pinène et le germacrène D³³³. Ces huiles possèdent par ailleurs des activités antimicrobiennes³³⁴.

5.2.1.2.6. Les recherches effectuées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

³³⁰ Yesilada E., Honda G., Sezik E., Tabata M., Fujita T., Tanaka T., Takeda Y. and Takaishi Y. (1995) Traditional medicine in Turkey. V. Folk medicine in the inner Taurus mountains. J. Ethnopharmacol. 46(3): 133-152.

³³¹ Stevanovic T., Diouf P.N. and Garcia-Perez M.E. (2009) Bioactive polyphenols from healthy diets and forest biomass. Current Nutrition and Food Science 5(4): 264-295.

³³² Phelan M., Aherne S.A., Wong A. and O'Brien N.M. (2009) Bioactive properties of wood knot extracts on cultured human cells. Journal of Medicinal Food 12(6): 1245-1251.

³³³ Krauze-Baranowska M., Mardarowicz M., Wiwart M., Poblocka L. and Dynowska M. (2002) Antifungal activity of the essential oils from some species of the genus *Pinus*. Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences 57(5-6): 478-482.

³³⁴ More F.N. (2007) Antimicrobial properties of conifer essential oils: a summary. CUEF REPORT. Department of Biological Sciences, Thomson Rivers University.

Les études menées sur les extractibles du genre *Pinus* par l'équipe du Pr. Stevanovic ont ciblé particulièrement le pin gris (*Pinus banksiana*). Ces travaux ont notamment permis d'évaluer l'activité antioxydante *in vitro*, et aussi les activités anti-inflammatoire et anti-enzymatique des extraits aqueux et éthanoliques d'écorces de cette essence³³⁵. Les résultats de García-Pérez M. et al. sont présentés aux tableaux 21 et 22 (publication actuellement en cours)

Tableau 29 Taux d'extractibles obtenus par les deux méthodes d'extraction des écorces (Mac= macération, HW= Eau chaude) et teneurs en phénols totaux, flavonoïdes, acides cinnamiques et proanthocyanidines.

Extracts	Yields (%)*	Total Ph (mgGAE g ⁻¹)	Total Flav (mg QE g ⁻¹)	Total CinnAc (mg ChAE g ⁻¹)	Pas content (mg CchE g ⁻¹)
YB Mac	9,29±0,72	314,98±7,83 ^c	17,14±1,51 ^d	140,40±3,13 ^b	43,04±5,62 ^b
YB HW	6,99±0,89	309,07±8,55 ^c	3,35±0,08 ^g	121,94±2,28 ^d	29,95±0,71 ^c
BF Mac	13,48±0,35	182,08±7,69 ^e	19,06±0,17 ^c	82,98±1,92 ^g	12,89±1,17 ^d
BF HW	28,87±3,47	44,01±0,34 ^f	8,60±0,80 ^f	58,89±1,77 ^h	4,33±0,21 ^e
JP Mac	6,97±0,28	232,58±2,36 ^d	39,87±0,57 ^b	106,76±3,05 ^e	17,08±1,36 ^d
JP HW	34,21±1,37	30,75 ±0,48 ^g	10,66±0,46 ^e	54,2±0,49 ⁱ	4,58±0,16 ^c
BS Mac	5,25±0,54	193,06±4,21 ^e	16,05±0,17 ^d	129,63±3,67 ^c	13,73±0,50 ^d
BS HW	9,96±0,08	404,29±4,04 ^b	53,40±1,05 ^a	90,28±0,92 ^f	11,78±0,11 ^d
Oligopin®	-	572,92±12,07 ^a	7,43±0,09 ^f	335,49±3,36 ^a	104,97±9,59 ^a

Le tableau 21 indique que le Jack Pine ou Pin gris contient un taux élevé d'extractibles à l'eau chaude (34.21%) comparativement à l'extrait obtenu par macération dans l'éthanol (6.97%). On y apprend également que, comparé à un extrait standardisé de pin maritime, l'extrait éthanolique d'écorce de pin gris recèle une forte teneur en composés phénoliques, équivalent toutefois à environ la moitié de la teneur détectée dans l'Oligopin®, un extrait standardisé de l'écorce du pin maritime, Cette teneur en phénoliques dans l'extrait aqueux de l'écorce du pin gris est la plus faible comparée à toutes les autres essences dans cette étude, et ce malgré un plus fort rendement en extractibles totaux. Ceci suggère la présence de composés de nature autre que celle des polyphénols. Toujours du même auteur, les résultats présentés au tableau 22 montrent que l'extrait aqueux d'écorce de pin gris n'a aucune activité antioxydante comparativement à celui obtenu par macération. Enfin, on y voit que l'extrait éthanolique de l'écorce de pin gris possède une meilleure activité relative que l'Oligopin® envers sur le radical libre NO·, qui est impliqué dans les processus d'inflammation.

Tableau 30 Valeurs des concentrations d'extraits permettant d'inhiber 50% de l'oxydation provoquée par plusieurs espèces réactives libérées lors d'un stress oxydatif. Sont présentés les résultats pour plusieurs extraits aqueux et éthanoliques d'écorces d'essences canadiennes dont le Jack Pine (JP dans le tableau = pin gris).

³³⁵ García-Pérez M., Royer M., Duque-Fernandez A., Diouf P.N., Stevanovic T. and Pouliot R. (2010) Antioxidant, toxicological and anti-proliferative properties of Canadian natural polyphenolic extracts on psoriatic and normal keratinocytes.

Extracts	H ₂ O ₂	O ₂ ⁻	OH [•]	NO [•]	ROO [•]
	CN50 (µg/ml)	CN50 (µg/ml)	CN50 (µg/ml)	CN50 (µg/ml)	CN50 (µg/ml)
YB _{Mac}	69,47±1,36 ^e	238,30±4,13 ^e	406,93±0,55 ^g	1505,66±265,25 ^b	914,42±8,81 ^c
YB _{HW}	68,45±0,39 ^e	296,30±5,67 ^d	858,85±0,94 ^b	1127,66±218,87 ^{c,d}	Not active
BF _{Mac}	102,67±1,13 ^b	962,80±3,12 ^a	917,58±2,96 ^a	Not active	933,15±9,76 ^b
BF _{HW}	93,25±0,98 ^c	812,36±6,73 ^b	Not active	Not active	Not active
JP _{Mac}	72,05±0,96 ^d	773,96±2,63 ^c	645,49±1,17 ^e	889,33±151,06 ^d	Not active
JP _{HW}	Not active	Not active	Not active	Not active	Not active
BS _{Mac}	119,87±0,77 ^a	764,04±2,18 ^c	690,82±0,28 ^d	1475,66±48,41 ^b	780,17±1,21 ^d
BS _{HW}	48,30±0,80 ^f	107,4±1,73 ^f	694,04±0,44 ^c	1352,66±156,07 ^{b,c}	1116,77±7,71 ^a
Oligopin®	28,19±0,80 ^g	61,13±1,86 ^g	622,99±0,17 ^f	2083,33±196,29 ^a	452,23±1,60 ^e

Cette étude du Centre de Recherche sur le Bois a permis de cribler effets d'extraits hydrophiles riches en polyphénols envers plusieurs espèces radicalaires et oxydantes libérées par l'organisme dans le processus de stress oxydatif. De plus les auteurs ont effectué une pré-analyse de la composition chimique des extraits en mesurant la teneur des diverses classes de polyphénols présentes ; des corrélations entre les activités biologiques détectées et la nature des composés polyphénoliques ont également été calculées.

On note cependant que l'activité antioxydante des écorces du pin gris demeure moyenne. Ces résultats peuvent expliquer les observations qui précisent que l'écorce de cette essence pour traiter l'inflammation et comme tonique (antioxydant) s'utilise uniquement en mélange avec d'autres essences telles que le pin blanc. Cette revue que nous avons faite sur les informations disponibles nous permet de conclure que le pin blanc serait l'essence de pin du Québec dont les extractibles d'écorce présentent le plus grand intérêt pour leurs propriétés biologiques.

5.2.1.3. Le mélèze : genre *Larix*

5.2.1.3.1. La diversité des espèces présentes au Canada



Figure 21 : Photo d'un mélèze laricin (*Larix laricina*),
source : http://www.treecanada.ca/trees/photo_info.php?photo_id=733&lang=fr

On compte 7 espèces dans le genre *Larix* au Canada dont 3 sont indigènes (mélèze de l'ouest, subalpin, laricin). Le mélèze d'Europe a été introduit mais il est aujourd'hui totalement naturalisé dans les forêts Canadiennes.

- Mélèze d'Europe (*Larix decidua*)
- Mélèze de Dahurie (*Larix gmelinii*)
- Mélèze de l'Ouest (*Larix occidentalis*)
- Mélèze de Sibérie (*Larix sibirica*)
- Mélèze du Japon (*Larix kaempferi*)
- Mélèze laricin (*Larix laricina*)
- Mélèze subalpin (*Larix lyallii*)

Sur le territoire québécois, seul le mélèze laricin (*Larix laricina*) se retrouve naturellement en forêt. Son aire de distribution s'étend sur l'ensemble du Québec sous la limite nordique³³⁶. Le mélèze laricin (*Larix laricina*) est le seul des conifères indigènes à perdre ses aiguilles (feuilles) pendant l'hiver. Son feuillage change de couleur à l'automne et tombe au sol. Bon

³³⁶ <http://www.rlq.uqam.ca/cartable/inforlq/InfoRLQvol4no6novembre2007.htm#SylvicultureMeleze>

nombre de Québécois nomment le mélèze «épinette rouge». Ceci vient du fait que les premiers colons français originaires du nord-ouest de la France connaissaient très peu les conifères. On trouve cette arbre presque partout au Canada, poussant essentiellement dans des lieux humides en association avec l'épinette noire, le sapin baumier, le tremble et le bouleau, ce qui rend son exploitation difficile.

5.2.1.3.2. Utilisations courantes par l'industrie forestière

Mélèze laricin (*Larix laricina*)

Cette espèce revêt aussi une importance économique et se prête à différents usages grâce à son bois fort et durable. Particulièrement utile pour les structures en contact avec l'eau et l'un des meilleurs bois de chauffage dans sa catégorie, le mélèze sert aussi d'abri et de nourriture au porc-épic. Ce bois quasi imputrescible est tout-à-fait indiqué pour une utilisation à l'extérieur, non seulement comme bardeau mais aussi comme mobilier ou en construction de terrasses. Il s'agit d'un bois de très haute qualité et de belle apparence. La différence de teinte entre le bois de printemps plus pâle et le bois d'été plus foncé crée un joli motif zébré qui donne fière allure aux meubles et aux bois de finition. Il serait possible de fabriquer de la pâte papetière avec la fibre du mélèze, mais les terres qu'il affectionne présentent de trop grands risques pour la machinerie forestière. On pourrait le transformer en bois de charpente, mais il sèche beaucoup plus lentement que l'épinette ou le sapin. Pourtant, son bois est dur, fort en plus d'être durable. À l'époque, on le réservait pour construire les nombreux ponts qui enjambaient les ruisseaux. Il servait aussi à la fabrication des quais. Ces utilisations découlent de sa bonne stabilité dimensionnelle.

5.2.1.3.3. Utilisations traditionnelles

Les Amérindiens furent les premiers à apprivoiser les vertus du mélèze. Ils utilisaient les racines pour couder l'écorce de leurs canots alors que la résine et l'écorce étaient séchées et broyées pour faire du levain ou des préparations médicinales employées pour soigner les troubles pulmonaires et rénaux, pour guérir les ulcères et panser les brûlures³³⁷. Dans les cas de brûlures, les Ojibwa utilisaient essentiellement l'écorce interne en application sur les plaies. En herboristerie amérindienne, le mélèze est aussi indiqué contre la grippe et le rhume,

³³⁷ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Canadian Journal of Botany 59: 2189-2325.

comme laxatif, comme tonique pour les reins, contre l'anémie, pour désinfecter les plaies, comme analgésique, antipyrétique, stimulant et expectorant. Les autochtones utilisaient par ailleurs ses douces aiguilles pour se confectionner oreillers et matelas. Cette essence exsude également une gomme sucrée et consommable.

5.2.1.3.4. Les extractibles connus du mélèze laricin, mélèze du Québec et leurs propriétés biologiques

La première constatation suite à la revue de littérature sur cette essence est le manque d'études sur ses extractibles en général. L'essence la plus étudiée dans le genre *Larix* est le mélèze d'Europe (*Larix decidua*).

La recherche initiale sur la composition en extractibles a été faite sur les feuilles du mélèze laricin (*Larix laricina*) en 1969³³⁸. Des composés phénoliques glycosylés (molécules ayant un ou plusieurs groupements sucres) dérivés de l'acide vanillique et de l'acide *p*-coumarique ont été identifiés dans l'extrait obtenu par extraction des feuilles avec l'éthanol. Plus tard, une étude décrit la présence d'autres composés phénoliques dans les feuilles, soit des flavonols acétylés glycosides³³⁹.

Par la suite, ce sont les feuilles et les ramilles qui ont été étudiées et plus particulièrement l'huile essentielle extraite de ces dernières. La composition en monoterpènes, en sesquiterpènes et en diterpènes (composés volatils) de l'huile extraite des feuilles et des ramilles a été établie pour trois espèces indigènes de mélèzes (laricin, de l'ouest et subalpin) par entraînement à la vapeur³⁴⁰. Les auteurs montrent également que les ramilles du mélèze présentent un rendement en huile essentielle supérieur à celui des feuilles. Dans les ramilles, ce rendement va de 1.1% dans les ramilles du mélèze laricin jusqu'à 3% dans celles du mélèze subalpin tandis que le rendement en huile dans les feuilles est en moyenne de 0.3%. La composition de l'huile extraite des feuilles de mélèzes laricins hybridés avec d'autres espèces, et obtenue par hydrodistillation, a fait l'objet d'une étude ultérieure dans laquelle les auteurs ont pu identifier pas moins de 38 composés volatils monoterpènes³⁴¹. La variation de la composition en monoterpènes volatils dans ces huiles extraites des feuilles, en fonction des

³³⁸ Niemann G.J. (1969) Phenolic glucosides from needles of *Larix laricina*. *Phytochemistry* 8(10): 2101-2103.

³³⁹ Niemann G. J. and Bekooy R. (1971). Flavonoid constituents from larix needles. *Phytochemistry* 10(4): 893-893.

³⁴⁰ Von Rudloff E. (1987) The volatile twig and leaf oil terpene compositions of three western north American larches, *Larix laricina*, *Larix occidentalis*, and *Larix lyallii*. *Journal of Natural Products* 50(2): 317-321.

³⁴¹ Holm Y. and Hiltunen R. (1997) Variation and inheritance of monoterpènes in *Larix* species. *Flavour and Fragrance Journal* 12(5): 335-339.

saisons, des individus et des sites géographiques a suscité l'intérêt afin d'établir le rôle de ces composés dans la protection de l'arbre contre divers insectes³⁴².

Quant à la composition terpénique des extraits d'écorce de mélèze laricin, ce n'est que récemment qu'une étude a permis d'identifier quatre nouvelles molécules : deux nouveaux labdanes diterpènes, un autre labdane déjà connu mais jamais isolé dans cette essence, et un stilbénoïde. Ces travaux ont porté en particulier sur les écorces de branches extraites au dichlorométhane, un solvant organique permettant d'extraire les composés lipophiles. Les auteurs mettent également en évidence le fait qu'aucune étude de la composition en extractibles des écorces n'avait été effectuée à ce jour³⁴³.

Le mélèze laricin a fait l'objet de quelques recherches récentes visant à mieux comprendre le pourquoi de l'utilisation de certaines plantes médicinales par les Cree dans le but de soigner le diabète. Il est reconnu que les composés antioxydants polyphénoliques possèdent la capacité d'inhiber les enzymes impliquées dans la formation du glucose sanguin. Ainsi, les extraits d'écorce de mélèze laricin ont été étudiés parmi plusieurs autres plantes pour déterminer leur activité antioxydante^{344,345}. Les résultats obtenus mettent en évidence la capacité de l'extrait éthanolique à piéger les radicaux libres, et ce avec une teneur en composés polyphénoliques de 130 µg d'équivalent acide tannique/ mg d'extrait. Cette activité s'est avérée supérieure à celle d'autres composés : acide ascorbique ou vitamine C, Trolox (dérivé de la vitamine E) et trois flavonoïdes antioxydants purs (catéchine, épicatechine et quercétine).

³⁴² Powell J.S. and Raffa K.F. (1999) Sources of variation in concentration and composition of foliar monoterpenes in tamarack (*Larix laricina*) seedlings: Roles of nutrient availability, time of season, and plant architecture. *Journal of Chemical Ecology* 25(8): 1771-1797.

³⁴³ Pichette A., Lavoie S., Morin P., Mshvildadze V., Lebrun M. and Legault J. (2006) New labdane diterpenes from the stem bark of *Larix laricina*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 54(10): 1429-1432.

³⁴⁴ Harbilas D., Martineau L.C., Harris C.S., Adeyiwola-Spoor D.C.A., Saleem A., Lambert J., Caves D., Johns T., Prentki M., Cuerrier A., Arnason J.T., Bennett S.A.L. and Haddad P.S (2009) Evaluation of the antidiabetic potential of selected medicinal plant extracts from the Canadian boreal forest used to treat symptoms of diabetes: Part II. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 87(6): 479-492.

³⁴⁵ Fraser M.H., Cuerrier A., Haddad P.S., Arnason J.T., Owen P.L. and Johns T. (2007) Medicinal plants of Cree communities (Québec, Canada): Antioxidant activity of plants used to treat type 2 diabetes symptoms. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 85(11): 1200-1214.

5.2.1.4. Le sapin : genre *Abies*

5.2.1.4.1. La diversité des espèces au Canada



Figure 22 : Photo d'un sapin baumier (*Abies balsamea*).

Source : http://www.treecanada.ca/trees/photo_info.php?photo_id=26&lang=fr

On compte 8 espèces de sapins au Canada dont 3 sont indigènes (baumier, grandissime, subalpin), les autres ayant toutes été introduites.

- Sapin argenté (*Abies concolor*)
- Sapin baumier (*Abies balsamea*)
- Sapin d'Espagne (*Abies pinsapo*)
- Sapin de Nordmann (*Abies nordmanniana*)
- Sapin grandissime (*Abies grandis*)
- Sapin noble (*Abies procera*)
- Sapin rouge (*Abies magnifica*)
- Sapin subalpin (*Abies lasiocarpa*)

Dans les forêts du Québec, le sapin baumier est l'essence du genre *Abies* la plus répandue. Présente dans diverses zones de végétation, il demeure l'une des principales essences de la forêt boréale et domine la sapinière à bouleau blanc. On le retrouve cependant également dans les forêts de feuillus, notamment dans les érablières.

5.2.1.4.2. Les utilisations courantes par l'industrie forestière

Le bois est léger, mou, à grain grossier et assez blanc. Employé comme bois de sciage ainsi que dans l'industrie des pâtes et papiers, on lui connaît aussi des usages secondaires dont la fabrication des instruments de musique. Le sapin baumier sain est recherché pour sa couleur claire et uniforme. De plus, ses propriétés physiques en facilitent l'imprégnation avec des produits de préservation utilisés dans le bois traité. Le bois arborant une présence minimum de noeuds, appelé aussi bois clair, est fortement en demande pour certaines applications. Ses caractéristiques physiques permettraient de remplacer le pin blanc pour certaines applications dont la fabrication de meubles et portes et fenêtres³⁴⁶.

5.2.1.4.3. Les utilisations traditionnelles

Le nom du sapin baumier (*A. balsamea*) fait référence à la puissante odeur que l'arbre dégage, plus particulièrement sa gomme-résine qui était connue sous le nom de « baume du Canada » et qui était mise en marché en bien des endroits du monde. Tout récemment, la gomme de sapin baumier a été approuvée par Santé Canada en tant que remède traditionnel pour soulager l'infection et l'inflammation des voies respiratoires. La gomme de sapin s'avère toujours populaire pour ses applications médicinales chez les Canadiens français qui l'emploient comme antiscorbutique et comme antiseptique dans les blessures (cataplasmes). De cette gomme, on a tiré diverses préparations médicinales, notamment la térébenthine et l'huile de térébenthine. Excitante et à hautes doses, purgative, la térébenthine avait une action surtout sur l'appareil urinaire et les muqueuses des voies respiratoires. Elle était très populaire à une certaine époque, employée en emplâtre ou en onguent, sur les coupures, les parties affectées de rhumatismes, les douleurs aux reins, etc. L'huile de térébenthine, une huile essentielle issue de la distillation de la térébenthine (donc différente de l'huile essentielle de sapin, distillée à partir des aiguilles), était considérée comme stimulante, diurétique, vermifuge, rubéfiante, légèrement sudorifique et, à fortes doses, purgative. On l'employait contre la fièvre typhoïde, la fièvre puerpérale (en application sur l'abdomen) et la diarrhée associée au choléra. On l'administrait en cas de bronchite aiguë et chronique, d'inflammation vaginale ou de la vessie, de rhumatismes chroniques et de lumbago. Les données ethnopharmacologiques regroupées par Arnason indiquent entre autre que la gomme a été

³⁴⁶ Jobin B. (2005) Étude sur la seconde transformation du sapin baumier. Rapport préparé par le Carrefour Recherche et Développement forestier de la côte Nord. Baie-Comeau, Québec.

utilisée par les Iroquois pour soigner le cancer³⁴⁷. La gomme était aussi simplement mâchée comme friandise.

Les Amérindiens d'est en ouest consommaient l'écorce intérieure de l'une ou l'autre des quatre espèces de sapin indigènes au Canada. On en faisait aussi une boisson, l'écorce en décoction étant utilisée par les Ojibwas ainsi que les Micmac pour soigner l'hypersudation. L'écorce externe était utilisée comme laxatif ainsi que le thé d'aiguilles, tandis que les Montagnais utilisaient l'infusion de ramilles.

5.2.1.4.4. Les extractibles connus du sapin du Québec et leurs propriétés biologiques

Une revue de la littérature traitant des extractibles de cette essence montre que depuis les années 1950 bon nombre d'études avaient pour but d'analyser les extraits de divers tissus, dû au fait que cette essence était connue pour ses applications thérapeutiques. La majeure partie des extractibles du sapin baumier déjà identifiés sont de la classe des terpènes.

Les premières études se penchaient d'ailleurs sur l'oléorésine exsudante et connue à l'époque sous le nom de « baume du Canada ». Cette oléorésine contient de 16 à 20% de composés qui peuvent être entraînés par la vapeur d'eau (hydrodistillation) pour donner une huile. Cette huile contient des monoterpènes tels que l' α -pinène et le β -pinène, le β -phellandrène et l'acétate de bornyle³⁴⁸, de même qu'un alcool diterpénique nommé abiéanol³⁴⁹. L'oléorésine est localisée sous l'écorce et est sécrétée par les canaux spécifiques de l'arbre. Les principaux acides terpéniques identifiés sont l'abiétique, le néoabiétique et les acides palustriques. L'acide abiétique est utilisé par les industries des vernis et des siccatifs, par celle des caoutchoucs synthétiques et comme colle de papeterie. Cette substance constitue 35 à 45% des résines commerciales. L'acide abiétique lui-même n'est pas un allergène mais un de ses produits d'auto-oxydation à l'air, soit l'acide 15-hydroperoxyabiétique est un des allergènes naturels des plus puissants que l'on connaisse, agissant sur les protéines cutanées. La composition de l'oléorésine a fait l'objet d'une autre étude en 1974 où les résultats ont permis d'identifier une série d'autres monoterpènes : limonène, 3-carène, myrcène et camphène, ainsi que des dérivés oxygénés tels que le linalool (molécule responsable de l'odeur

³⁴⁷ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Can. J. Bot.* 59: 2189-2325.

³⁴⁸ Anderson A.B. (1955) Recovery and utilization of tree extractives. *Economic Botany* 9(2): 108-140.

³⁴⁹ Gray P.S. and Mills J.S. (1964) The isolation of abienol from Canada Balsam, the Oleoresin of *Abies balsamea* (L.) Mill. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*: 5815-5818.

particulière du bois de rose), l' α -géraniol ou encore le terpénéol³⁵⁰. Dans l'huile essentielle récupérée par hydrodistillation à partir de l'oléorésine, on trouve également d'autres composés terpéniques volatils, les sesquiterpènes (12 identifiés en 1974)³⁵¹.

Parallèlement aux travaux sur l'oléorésine, le feuillage du sapin a également fait l'objet de quelques recherches. Smirnoff en 1972 identifie plusieurs composés terpéniques volatils dans ce tissu : α et β -pinènes et limonène, phellandrène, fenchone, et thujone, leur activité antibactérienne démontrée vis-à-vis plusieurs souches de pathogènes³⁵². Le limonène est un agent répulsif des coléoptères. La thujone possède une agréable odeur de menthe mais s'avère toxique à trop forte dose (> 45 mg/kg) car elle agit sur les neurones du cerveau et peut provoquer spasmes musculaires et convulsions. Cependant à faible dose on lui accorde un effet thérapeutique car elle a agit positivement sur le système de défense immunitaire.

La plupart des composés isolés dans les années 1950-1990 étaient extraits par entraînement à la vapeur (hydrodistillation). Ce n'est qu'en 1997 que l'équipe de Bowman propose une nouvelle méthode d'extraction, cette fois par macération dans un solvant organique lipophile : le dichlorométhane³⁵³. Les auteurs constatent que les composés identifiés par chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse sont les mêmes que ceux déjà isolés dans l'huile essentielle obtenue par hydrodistillation du feuillage (Tab. 31). Certains auteurs ont déterminé la composition en cires des aiguilles, et ce pour comprendre pourquoi certaines larves d'insectes préféraient ce tissu du sapin baumier (effet d'appétence)³⁵⁴ ; plusieurs esters et acides diterpéniques ont été identifiés. La résistance de l'essence face aux insectes exotiques via ces composés terpéniques présents dans le feuillage a récemment suscité de nouvelles études sur l'extrait au dichlorométhane³⁵⁵.

³⁵⁰ Chung J.L., Snajberk K. and Zavarin E. (1974) Chemical composition of the cortical essential oil from *Abies balsamea*. *Phytochemistry* 13(1): 179-183.

³⁵¹ Thor E. and Barnett P.E. (1974) Taxonomy of *Abies* in the Southern Appalachians: Variation in Balsam Monoterpenes and Wood Properties. *Forest Science* 20: 32-40.

³⁵² Smirnoff W.A. (1972) Effects of volatile substances released by foliage of *Abies balsamea*. *Journal of Invertebrate Pathology* 19(1): 32-35.

³⁵³ Bowman J.M., Braxton M.S., Churchill M.A., Hellie J.D., Starrett S.J., Causby G.Y., Ellis D.J., Ensley S.D., Maness S.J., Meyer C.D., Sellers J.R., Hua Y., Woosley R.S. and Butcher D.J. (1997) Extraction Method for the Isolation of Terpenes from Plant Tissue and Subsequent Determination by Gas Chromatography. *Microchemical Journal* 56(1): 10-18.

³⁵⁴ Tulloch A.P. (1987) Epicuticular waxes of *Abies balsamea* and *Picea glauca*: Occurrence of long-chain methyl esters. *Phytochemistry* 26(4): 1041-1043.

³⁵⁵ Carlow S.J., Ayers L., Bailey A., John B., Richardson A., Shepherd B., Woosley R.S. and Butcher D.J. (2006) Determination of volatile compounds in foliage of Fraser fir (*Abies fraseri*) and balsam fir (*Abies balsamea*). *Microchemical Journal* 83(2): 91-97.

Tableau 31 Tableau extrait de l'article de Bowman et al. (1997) donnant la composition en terpènes de l'extrait au dichlorométhane du feuillage de sapin baumier

Terpene	Balsam	
	Mass, mg/g	RSD, %
Tricyclene	0.38	9
α -Pinene	3.29	6
Camphene	3.26	6
β -Pinene	11.09	8
3-Carene	8.37	4
Myrcene	0.76	3
Limonene	2.81	6
β -Phellandrene	1.99	6
γ -Terpinene	0.09	16
Cineole (internal standard)	—	—
p-Cymene	0.05	9
Unknown	0.12	3
β -Caryophyllene	0.40	8
Bornyl acetate	5.43	8
β -Bisabolene	0.76	7
α -Humulene	0.18	31
Borneol	0.15	6
Piperitone	0.09	30
Unknown	6.44	11
Total	46.08	5

En 2003, des recherches effectuées par Legault et al. font la preuve que l'huile essentielle extraite du feuillage de sapin baumier par hydrodistillation, est active contre des lignées de cellules humaines cancéreuses ; ces travaux identifient l' α -humulène³⁵⁶ comme composé bioactif. Les autres composés terpéniques isolés lors cette étude avaient été préalablement identifiés dans l'huile essentielle extraite des branches par Simard et al. en 1988³⁵⁷.

La composition terpénique du bois de sapin baumier a également été étudiée. L'analyse chimique des extraits a démontré la présence de juvabione et de plusieurs dérivés de ce composé sesquiterpénique, dérivés réputés pour leur activité comme agents de protection chez plusieurs conifères contre certains insectes et pathogènes³⁵⁸. En 1998, Pichette et al. se penchent sur la différence de composition chimique de l'extrait à l'hexane (un solvant lipophile) à la fois pour le bois de pin gris, d'épinette noire et de sapin baumier. Ces analyses,

³⁵⁶ Legault J., Dahl W., Debiton E., Pichette A. and Madelmont J.C. (2003) Antitumor activity of balsam fir oil: Production of reactive oxygen species induced by α -humulene as possible mechanism of action. *Planta Medica* 69(5): 402-407.

³⁵⁷ Simard S., Hachey J.-M. and Collin G.J. (1988) Variations of essential oil composition during the extraction process. The case of *Thuja occidentalis* L. and *Abies balsamea* (L.) Mill. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 8(4): 561-573.

³⁵⁸ Manville J.F. (1976) Juvabione and its analogues. II. Isolation, identification, and occurrence of juvabiol and its epimer isojuvabiol from the whole wood of *Abies balsamea*. *Canadian Journal of Chemistry* 54(15): 2365-2371.

effectuées par chromatographie gazeuse (GC) et spectrométrie de masse (MS) confirment que la juvabione, la dehydrojuvabione et la (E)- α -atlantone (Tab. 32) sont des terpènes présents uniquement (et en forte quantité) dans le bois de sapin baumier (*Abies balsamea*)³⁵⁹.

Tableau 32 Tableau extrait de l'article de Pichette et al. (1998) donnant la composition de l'extrait à l'hexane du bois de cœur de sapin baumier (*Abies balsamea*).

Kovats indices	Identification	Composition (%)		
		Jack Pine	Black Spruce	Balsam Fir
937	α -pinene	64.75	12.99	0.31
979	β -pinene	3.02	6.36	0.16
1191	α -terpineol	5.73	1.95	0.12
1525	δ -cadinene	0.00	0.00	1.71
1772	(E)- α -atlantone	0.00	0.00	2.90
1982	manoyl oxide	0.81	1.40	0.18
2002	manoyl oxide epi-13	1.08	2.41	0.00
2017	juvabione	0.00	0.00	55.44
2031	unknown 1	0.63	9.10	0.00
2053	manool	1.46	21.43	23.53
2089	dehydrojuvabione	0.10	0.00	15.64
2107	isoabienol	0.19	1.94	0.00
2144	neoabienol	2.61	18.79	0.00
2150	(Z)-abienol	3.99	21.43	0.00
2158	pimarane diterpene	6.43	0.74	0.00
2175	unknown 2	2.77	0.87	0.00
2189	unknown 3	6.42	0.59	0.00

Plus récemment, les extraits de nœuds du bois chez le sapin baumier ont suscité l'intérêt des chercheurs. Une étude menée en 2003 indique que les extraits de nœuds de plusieurs essences dont le sapin baumier sont riches en composés polyphénoliques de la classe des lignanes lorsqu'obtenus par extractions hydrophiles (eau, alcool)³⁶⁰. Le lignane le mieux connu dans le genre *Abies* est le secoisolariciresinol, un puissant antioxydant naturel. Les extraits de nœuds de sapin baumier contiennent également du lariciresinol, composé possédant une activité

³⁵⁹ Pichette A., Garneau F.X., Jean F.I., Riedl B. and Girard M. (1998) Chemical differences between the wood extracts of jack pine (*Pinus banksiana*), black spruce (*Picea mariana*) and balsam fir (*Abies balsamea*) from Eastern Canada. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 18(4): 427-438.

³⁶⁰ Holmbom B., Eckerman C., Eklund P., Hemming J., Nisula L., Reunanen M., Sjöholm R., Sundberg A., Sundberg K. and Willför S. (2003) Knots in trees - A new rich source of lignans. *Phytochemistry Reviews* 2(3): 331-340.

contre le cancer du sein³⁶¹. Les extraits de nœuds contiennent de plus de la juvabione et des acides sesquiterpénoïdes (Fig. 23).

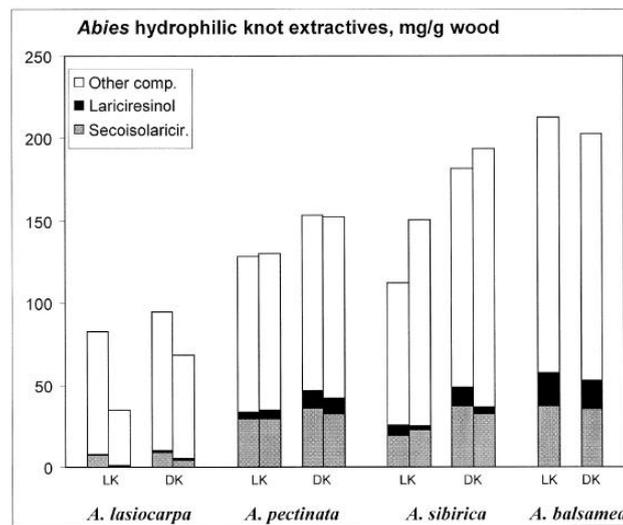


Figure 23 : Graphique extrait de l'article de Holmbom et al. (2003) présentant la teneur en mg d'extractibles par gramme de bois obtenus par extraction des nœuds avec hexane.

Outre les lignanes, les extraits hydrophiliques de nœud du sapin baumier renferment également des stilbènes et des flavonoïdes³⁶². Ces extraits n'exhibent néanmoins qu'une faible activité antibactérienne comparativement à ceux d'autres extraits d'essences indigènes³⁶³.

Quant à elle, l'écorce du sapin baumier a fait l'objet de très peu d'études phytochimiques. En 2006, Spoor et al. ont porté leur attention sur plusieurs essences utilisées traditionnellement par les Cree dans pour soigner l'hyperglycémie³⁶⁴; les auteurs ont ainsi criblé le potentiel antidiabétique des extraits polyphénoliques de ces essences. Dans leur étude, l'écorce interne est extraite par macération dans l'éthanol et le rendement d'extraction dans ce solvant atteint 15.3% par rapport à la masse sèche d'écorce broyée. Les analyses indiquent une teneur en phénols totaux somme toute assez moyenne (97 µg/mg d'extrait en équivalent quercétine)

³⁶¹ Saarinen N.M., Wäri A., Dings R.P.M., Airio M., Smeds A.I. and Mäkelä S. (2008) Dietary lariciresinol attenuates mammary tumor growth and reduces blood vessel density in human MCF-7 breast cancer xenografts and carcinogen-induced mammary tumors in rats. *International Journal of Cancer* 123(5): 1196-1204.

³⁶² Lindberg L.E., Willför S.M. and Holmbom B.R. (2004) Antibacterial effects of knotwood extractives on paper mill bacteria. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 31(3): 137-147.

³⁶³ Välimaa A.-L., Honkalampi-Hämäläinen U., Pietarinen S., Willför S., Holmbom B. and von Wright A. (2007) Antimicrobial and cytotoxic knotwood extracts and related pure compounds and their effects on food-associated microorganisms. *International Journal of Food Microbiology* 115(2): 235-243.

³⁶⁴ Spoor D.C.A., Martineau L.C., Leduc C., Benhaddou-Andaloussi A., Meddah B., Harris C., Burt A., Fraser M.H., Coonishish J., Joly E., Cuerrier A., Bennett S.A.L., Johns T., Prentki M., Arnason J.T. and Haddad P.S., (2006) Selected plant species from the Cree pharmacopoeia of northern Quebec possess anti-diabetic potential. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 84(8-9): 847-858.

comparée aux essences étudiées. L'extrait d'écorce interne de sapin baumier démontre un potentiel antidiabétique et antioxydant moyens. On rapporte aussi une activité antifongique vis-à-vis certaines souches de moisissures³⁶⁵.

Ce bilan des recherches traitant des extractibles identifiés dans divers tissus du sapin baumier confirme que ce sont les terpènes présents dans les huiles obtenues par hydrodistillation qui ont suscité le plus d'intérêt à date. On note des lacunes évidentes concernant la nature des composés polyphénoliques extractibles avec des solvants hydrophiles, en particulier les composés présents dans l'écorce. Les extraits de sapin baumier exhibent des propriétés biologiques d'un grand intérêt pour le domaine médical (activité antitumorale, antimicrobienne, antifongique) et pour le marché du cosmétique.

5.2.1.4.5. Les recherches effectuées au Laboratoire de Chimie du Bois du CRB, à l'Université Laval

Les extraits hydrophiliques d'écorce du sapin baumier (*Abies balsamea*) ont fait l'objet d'une série de tests *in vitro* menés en mode criblage sur plusieurs écorces d'essences canadiennes répandues au Québec. Il s'agissait d'évaluer l'activité antioxydante/antiradicalaire, anti-inflammatoire et anti-enzymatique des extraits aqueux et éthanoliques de ces écorces. Les résultats de García-Pérez M. et al. sont rapportés aux tableaux 18 et 19. Ce travail est actuellement en cours de publication³⁶⁶.

Le tableau 18 montre que l'extraction à l'eau chaude procure un meilleur rendement (29% d'extractibles par rapport à la masse sèche d'écorce) que celle effectuée par macération à froid dans l'éthanol (13%). Par contre l'extrait éthanolique s'avère plus riche en composés polyphénoliques mais présente une teneur en phénols totaux cinq fois inférieure à l'extrait standardisé de pin maritime ou Oligopin[®]. Les auteurs ont mené des tests sur plusieurs substances réactives oxygénées qui sont libérées par l'organisme lors de stress oxydatif ; les résultats montrent que les extraits hydrophiliques d'écorce de sapin baumier ont une activité antioxydante/antiradicalaire moyenne comparée à d'autres essences.

³⁶⁵ Yang D.-Q., Wang X.-M., Shen J. and Hui W. (2004) A rapid method for evaluating antifungal properties of various barks. *FPJ* 54(6).

³⁶⁶ García-Pérez M., Royer M., Duque-Fernandez A., Diouf P.N., Stevanovic T. and Pouliot R. (2010) Antioxidant, toxicological and anti-proliferative properties of Canadian natural polyphenolic extracts on psoriatic and normal keratinocytes.

5.2.2. Notes sur les extractibles de résineux secondaires du Québec

Tout comme dans l'étude des extractibles pour les diverses espèces de feuillus, nous avons voulu conclure en détaillant d'autres essences secondaires dont les extractibles pourraient être valorisés quoiqu'à plus petite échelle.

5.2.2.1. La pruche : genre *Tsuga*

Des trois espèces indigènes de ce genre au Canada, seule la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*), ou pruche de l'Est, croît au Québec. Elle est ici l'espèce de conifère de la famille de Pinacées (pins) la moins tolérante au froid. Elle préfère l'ombre et les milieux frais et humides. Cette essence croît généralement en association avec le bouleau, le hêtre ou l'érable à sucre. Son bois est léger, mou, cassant, mais plus fort que celui du pin blanc. On en fait des charpentes, des boîtes et des caisses, des murs de soutènement et de la pâte à papier. L'industrie du tannage utilise l'écorce de la pruche, très riche en tannin³⁶⁷. La pruche du Canada a été présente dans les traditions amérindiennes à cause de ses vertus astringentes et antiseptiques. Par ailleurs, l'écorce entière riche en tannin était utilisée sous forme de décoction pour soigner les diarrhées, les cystites, les coliques. Comme candidate au nom d'anneda ou « arbre de vie », les Iroquois qui nomment d'ailleurs cette essence *annedda* préparaient un thé d'écorce et d'aiguilles pour soigner le scorbut et les maladies vénériennes³⁶⁸. L'écorce interne consommée par les Micmac était également employée comme cataplasme sur les blessures, pour la douche vaginale et en gargarisme pour les maux de gorge et les inflammations buccales³⁶⁹. L'écorce interne en application permettait aussi de traiter plusieurs problèmes de peaux. Pour soigner la dysenterie, les Ojibwas privilégiaient les ramilles.

Les propriétés biologiques de l'écorce interne de la pruche du Canada ont été mises en évidence lors d'études ethnopharmacologiques. La présente revue de littérature nous informe

³⁶⁷http://www.florelaurentienne.com/flore/Groupes/Spermatophytes/Gymnospermes/010_Pinacees/04_Tsuga/canadensis.htm

³⁶⁸ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. *Can. J. Bot.* 59: 2189-2325.

³⁶⁹ Foster. S. and Duke. J. A. (1990) *A Field Guide to Medicinal Plants. Eastern and Central N. America.* oughton Mifflin Co. 1990 ISBN 0395467225

que tandis que l'écorce entière servait à la tannerie, l'écorce interne était utilisée pour ses propriétés médicinales³⁷⁰.

Tableau 33 Tableau extrait de l'article de Garr et George (1920) donnant les taux d'extractibles dans les extraits aqueux et alcooliques des différentes parties de l'écorce (whole : entière, outer : externe, inner : interne).

Lot No.	Portions of bark.	Hot water-	32 % Alcohol-
		soluble extractive, Percent.	soluble extractive, Percent.
1.....	Whole bark	11.88	18.29
	Outer bark	11.27	18.20
	Inner bark	13.37	18.52
2.....	Whole bark	12.57	20.56
	Outer bark	12.54	21.36
	Inner bark	12.60	19.60
3.....	Whole bark	13.09	...
	Outer bark	12.75	...
	Inner bark	13.62	...
4.....	Whole bark	11.27	18.72
	Outer bark	10.29	18.80
	Inner bark	12.12	18.68

On ne retrouve pas d'études récentes sur la composition de l'écorce de pruche du Canada. Cependant une étude datant de 2003 fait une description exhaustive des composés terpéniques des aiguilles³⁷¹. La présence de plusieurs flavonoïdes (polyphénols)³⁷² a été décrite pour les aiguilles et les feuilles,

Tableau 34 Tableau extrait de l'article de Feucht et al. (2004) donnant la composition en flavonoïdes des extraits d'aiguilles.

Tree/tissue	Flavanols(mg/g fresh weight)				
	Catechin	Epicatechin	B2	Procyanidins	Total
<i>Tsuga canadensis</i> seed wing	0.3	0.1	0.1	0.1	0.6
<i>Tsuga canadensis</i> shoot tip	1.1	0.1	0.1	0.2	1.5
<i>Taxus baccata</i> shoot tip	2.3	0.3	0.1	2.0	4.7
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> leaf tip	0.2	0.1	-	0.2	0.5
<i>Coffea arabica</i> leaf	0.1	1.9	1.7	0.1	3.8
<i>Prunus avium</i> leaf	1.6	0.4	0.6	0.8	3.4

³⁷⁰ Garr H.D. and George E.É. (1920) Hemlock Bark (*Tsuga Canadensis*) for pharmaceutical purposes, pp. 567-573.

³⁷¹ Lagalante A.F. and Montgomery M.E. (2003) Analysis of terpenoids from Hemlock (*Tsuga*) species by solid-phase microextraction/gas chromatography/ion-trap mass spectrometry. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51(8): 2115-2120.

³⁷² Feucht W., Treutter D. and Polster J. (2004) Flavanol binding of nuclei from tree species. *Plant Cell Reports* 22(6): 430-436.

5.2.2.2. Le thuya : genre *Thuja*

On connaît deux espèces de thuyas indigènes du Canada : le thuya occidental (*Thuja occidentalis*) et le thuya géant (*Thuja plicata*). L'espèce la plus fréquente au Québec demeure le thuya occidental. Le bois est odorant et léger, facilement fendable et réfractaire à la pourriture : d'où son emploi en construction de quais, pièces de fondation, poutres, clôtures, poteaux télégraphiques et bardeaux³⁷³. L'appellation de « cèdre » fréquemment donnée au thuya est impropre ; le cèdre est un arbre tout différent, qui n'appartient même pas aux Cupressacées. Le thuya occidental s'emploie en médecine populaire et en pratique amérindienne. Le thé de feuilles du thuya occidental était consommé par les amérindiens comme tonique, pour traiter les maux de tête et la toux. Il trouvait aussi sa place en aromathérapie (inhalation des composés volatils entraînés à la vapeur). On note peu d'information sur l'utilisation de l'écorce ; Arnason cite que l'écorce était appliquée sur les brûlures³⁷⁴. Parmi les extractibles connus de cette espèce, citons les tannins, la thujone, la fenchone, le camphre, le terpinen-4-ol, et l'acétate de bornyle.

D'après notre revue de la littérature, la composition des extraits de thuya et leurs propriétés biologiques ont fait l'objet de plusieurs études. La majorité des données concernent le thuya occidental.

Les études phytochimiques sur cette essence (extraits de branches, de xylème et de feuilles) ont permis d'identifier la série de composés suivants : (1) monoterpènes (α -thujone, β -thujone, fenchone), (2) diterpènes (dehydroabietane, acides neothujiques III and IV), (3) sesquiterpène (+)-occidentalol³⁷⁵, (4) plusieurs lignanes (8R,8'R)-(-)-matairesinol, (8R,8'R)-(-)-thujaplicatin methyl ether, (8S,8'S)-(-)-wikstromol, 8-hydroxy-thujaplicatin methyl ether et *epi*-pinosresinol, pinosresinol et secoisolariciresinol) et (5) plusieurs autres extractibles s'avérant être des agents antitumoraux³⁷⁶. Les extraits méthanoliques des feuilles et des cônes possèdent par ailleurs une activité antibactérienne non négligeable³⁷⁷. Une revue parue en

³⁷³http://www.florelaurentienne.com/flore/Groupes/Spermatophytes/Gymnospermes/009_Cupressacees/02_Thuja/occidentalis.htm

³⁷⁴ Arnason T., Hebda R.J. and Johns T. (1981) Use of plants for food and medicine by Native Peoples of eastern Canada. Canadian Journal of Botany 59: 2189-2325.

³⁷⁵ Roy D.N., Konar S.K. and Purdy J.R. (1984) Sublimation of occidentalol, a sesquiterpene alcohol, from eastern white cedar (*Thuja occidentalis*) in a drying kiln, Canadian Journal of Forest Research 14 : 401-403

³⁷⁶ Kawai S., Sugishita K. and Ohashi H. (1999) Identification of *Thuja occidentalis* lignans and its biosynthetic relationship. Phytochemistry 51(2): 243-247.

³⁷⁷ Ezzat S.M. (2001) In vitro inhibition of *Candida albicans* growth by plant extracts and essential oils. World Journal of Microbiology and Biotechnology 17(7): 757-759.

2005 permet par ailleurs de comprendre l'intérêt pharmacologique des extraits de ce thuya³⁷⁸. On y trouve une synthèse des données phytochimiques existantes sur les composés présents dans l'huile essentielle extraite des feuilles, et aussi des données sur la composition des composés extraits par solvant. Les feuilles donnent un rendement en huile essentielle de 0.6%, la thujone étant le constituant majoritaire de cette huile. On en trouve aussi dans plusieurs autres parties de l'arbre (les branches, les ramilles etc.). Par exemple, les auteurs mentionnent que chaque gramme de feuilles fraîches extraites avec comme solvant de l'éthanol à 30% permet d'obtenir 2.8 mg de thujone.

³⁷⁸ Naser B., Bodinet C., Tegtmeier M. and Lindequist U. (2005) *Thuja occidentalis* (Arbor vitae): A Review of its Pharmaceutical, Pharmacological and Clinical Properties. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine 2(1): 69-78.

Tableau 35 Tableau extrait de la revue de Naser et al. (2005) décrivant la composition des extraits de feuilles

Group	Constituents
Essential oil (1.4–4% of drug)	Borneol
	Camphene
	Fenchone
	Limonene
	Myricene
	α -Terpine
	Terpinolene
	Thujone (0.76–2.4% of essential oil, 85% α -thujone, 15% β -thujone)
	Thujylalcohol
Coumarins	<i>p</i> -Coumaric acid
	Umbelliferone
Flavonoids	(+/-)-Catechine
	(-)-Gallocatechine
	Kaempferol
	Kaempferol-3- <i>O</i> - α -rhamnoside
	Mearnsitrin
	Myricetine
	Myricitrin
	Procyanidin B-3
	Prodelphinidin
	Quercetin
Quercitrin	
Other	Tannic acid (~1.3% of drug)
	<i>Thuja</i> polysaccharides and proteins (~4% of drug)

Les diverses propriétés pharmacologiques des extraits sont présentées dans cet article ainsi que les études cliniques connexes.

Les extraits des noeuds de bois du thuya géant et de l'écorce du thuya occidental ont été étudiés afin d'évaluer leurs propriétés antioxydantes. Dans ces extraits on retrouve des dérivés de la thuyaplicatine. Le rendement (par solvant acétone/eau) d'extractibles hydrophiles dans l'écorce est de 5.9%³⁷⁹, une bonne partie étant des sucres. Cependant on note également la présence de stilbènes et de tannins.

³⁷⁹ Pietarinen S., Willför S., Ahotupa M., Hemming J. and Holmbom B. (2006) Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. *Journal of Wood Science* 52(5): 436-444.

Tableau 36 Tableau extrait de l'article de Pietarinen et al. (2006) décrivant la composition de la fraction hydrophile de l'extrait hexanique d'écorces de plusieurs essences dont le thuya occidental.

<i>Thuja occidentalis</i>	<i>Picea abies</i>
Sugars	Isorhapontin
Catechin	Astringin
Isorhapontin	Resveratrol-glycoside
Astringin	Tannins
Tannins	
	<i>Abies lasiocarpa</i>
<i>Pinus banksiana</i>	Sugars
Sugars	Resin acids
Taxifolin	Tannins
Dihydromyrcetin	
Tannins	<i>Populus tremula</i>
	Unidentified
glycosides	Tannins
<i>Betula pendula</i>	
Betuloside	
Catechin	<i>Pinus mariana</i>
Sugars	Sugars
Tannins	Catechin
	Tannins
<i>Pseudotsuga menziensis</i>	
Sugars	
Taxifolin	
Catechin	
Tannins	

Les conclusions de cet article montrent que les extraits de nœuds du thuya géant ont une meilleure capacité à piéger les radicaux libres que les mêmes extraits provenant du thuya occidental ; ces derniers contiennent plus de thujalignanes.

5.2.3. Une distinction importante : huiles essentielles vs extractibles visés par ce mandat

Il est primordial, pour conclure cette étude sur les extractibles connus des résineux, de faire une distinction claire entre les huiles essentielles d'une part et d'autre part les autres types d'extraits que nous souhaitons mettre en valeur dans ce mandat.

Les huiles essentielles font partie des extractibles du bois, et sont connues et utilisées depuis plus de 7000 ans. Elles sont spécifiquement constituées de molécules odorantes volatiles contenues dans les organes producteurs des plantes et arbres aromatiques, situés au niveau des feuilles et des fleurs, mais aussi des semences, des racines, des écorces. Comme nous l'avons vu dans cette étude, les huiles essentielles contiennent toujours plusieurs composés chimiques

différents. Ces huiles s'extraient selon deux procédés différents: le pressage à froid et l'hydrodistillation (alambics). Dans ce dernier cas les étapes vont comme suit :

1. Entraînement à la vapeur des produits organiques volatils qui se condensent dans un réfrigérant et qui sont recueillis à l'autre bout d'un montage de distillation³⁸⁰.
2. Décantation des deux solvants non miscible : une phase aqueuse, l'eau en général plus dense, se situe dans la partie inférieure et une phase organique, de densité plus faible et contenant l'huile essentielle se retrouve au-dessus dans l'ampoule à décantation.
3. Séchage et filtration de la phase organique récupérée

Les rendements obtenus en extraction d'huiles essentielles sont assez faibles, entre 1 et 3 % . En fait, les huiles essentielles sont constitués des extractibles aromatiques et volatils du bois. Beaucoup de plantes ne possèdent pas d'huile essentielle extractible, ou en possèdent très peu (par exemple, 400 kilos de matériel sont requis pour obtenir 1 litre d'huile essentielle de menthe poivrée; pour obtenir 1 litre d'huile essentielle de Mélisse, on doit débiter avec 2 à 5 tonnes de plante!). Ces considérations permettent de comprendre les écarts de prix de vente parfois très importants entre les diverses huiles essentielles sur le marché

Les extraits que l'on souhaite mettre en valeur dans ce mandat sont ceux obtenus par extraction des tissus forestiers à l'aide d'eau ou de solvant organique (alcool par exemple) par macération, décoction, traitement ultrasonique ou autres....Ce sont des composés de diverses classes mais nous avons démontré dans cette partie du rapport que la bioactivité des extraits est principalement due aux composés polyphénoliques ou terpéniques (non volatils, avec entre autres les triterpènes). Ces extraits s'obtiennent à partir des écorces avec des rendements allant de 5 à 30% dans certains cas. Pour une valorisation des écorces résiduelles de l'industrie de première transformation, la production de ce type d'extraits aux diverses propriétés biologiques s'avère alors beaucoup plus rentable. Les matières extractibles de l'écorce et du bois offrent des possibilités nettement supérieures à ce que représente leur utilisation actuelle.

³⁸⁰ Auclair J. et Côté I. (2002) Extraction d'huiles essentielles de conifères, Expo-Journal, rapport interne, département des sciences de la nature, Cégep de Saint-Félicien, Saint-Félicien, 11 pages.

5.2.4. Bilan : potentiel de développement lié aux extractibles des résineux

Cette revue de la littérature traitant des extractibles de résineux présents dans les forêts québécoises et notamment ceux des essences les plus commercialisées, permet de mettre en évidence plusieurs points :

- Il existe nombre d'études phytochimiques au sujet des essences dont les propriétés médicinales sont déjà reconnues. On constate cependant de sérieuses lacunes quant aux informations sur les essences nord-américaines, comparativement aux recherches sur la nature et les propriétés des extractibles d'essences européennes de même genre.
- De même que dans le cas des feuillus, les données ethnopharmacologiques sont des pistes essentielles pour mettre en œuvre un futur programme de recherche sur les essences à fort biopotentiel.
- Les essences résineuses du Québec représentent des sources substantielles d'extractibles démontrant de multiples activités biologiques. Les extraits (autres que les huiles essentielles) d'écorces de résineux sont riches en polyphénols dont les divers bénéfiques ont déjà été démontrés. Ces composés ont été identifiés en grande quantité dans les extraits d'écorce d'épinette, ces extraits possédant d'excellentes propriétés antioxydantes - comparables voire supérieures au pycnogénol, un extrait de pin maritime déjà commercialisé. Les terpènes extraits de l'écorce du pin ont été identifiés comme anti-cholestérolémiques et anti-tumoraux alors que les phénols sont responsables en grande partie de l'activité antimicrobienne et surtout antioxydante de ces extraits. L'écorce de mélèze s'avère aussi une remarquable source de polyphénols de hautes activités antioxydantes.

Tout comme nous l'avons souligné chez le feuillus, les extractibles des écorces ont fait l'objet de moins de travaux que les parties aériennes des arbres (aiguilles, cônes etc..). Ici également, il importe de faire une distinction nette entre les huiles essentielles et les extraits des tissus ligneux, dont l'écorce, et plus particulièrement entre les extraits de l'écorce externe et interne de l'arbre. En conclusion, il sera souhaitable pour promouvoir la valorisation de ce résidu, de soutenir des programmes de recherches structurés qui cibleront à la fois l'identification des extractibles de ces écorces ainsi qu'une évaluation rigoureuse de leurs propriétés biologiques.