



Étude technico-économique de filières de bioproduits industriels à base de produits ou de biomasses agricoles

Rapport d'étape : Phase 1
Dépôt final

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et
de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)

2010

Experts en économie de l'environnement et des ressources naturelles

Personnel impliqué et collaboration

Jean Nolet, M. Sc. Président, ÉcoRessources Consultants

Sylvie Mondor, agr. B. Sc. Directrice des secteurs agroalimentaire et agroenvironnement, ÉcoRessources Consultants

Catherine Lessard, M. Sc. Analyste- Agroalimentaire, ÉcoRessources Consultants

Kathleen Vaillancourt, Ph. D. Directrice scientifique - Énergie, ÉcoRessources Consultants

Jérôme-Antoine Brunelle, agr. B. Sc. Analyste – Agroalimentaire, ÉcoRessources Consultants

Hervé Bernier, M. Sc. Directeur général, Biopterre

Éric Bégin, B.A.A., Adm. A. Directeur des opérations, Biopterre

Valérie Pelletier, B. Ing. Professionnelle de recherche en bioressources, Biopterre

André Vézina, M. Sc. Chef de projets, Agroforesterie, Biopterre

Denis Rheault, Chef de projet Faisabilité & homologation, Biopterre

David Berthiaume, M. Sc. MBA. Directeur général, Oleotek

Grégory Hersant, M. Sc. Chimiste R&D, Oleotek

Geneviève Bolduc, Ing. Jr. Oleotek

Alain Tremblay, Directeur scientifique, Oleotek

Hugues Groleau, agr. M. Sc. Président, Écosphère / Chargé de projet CEAI

Caroline Côté Beaulieu, agr. M. Sc. Chargée de projet Écosphère / CEAI

Abdelkader Chaala, Ph. D. Directeur scientifique et de la R&D, SEREX

Camil Lagacé, B. Sc. Président, Groupe Sine Nomine

Table des matières

1. CONTEXTE	1
2. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE	2
Étape A : Identification des procédés de transformation	4
Étape B : Identification des filières industrielles concurrentes	4
Étape C : Identification des types de cultures et de biomasses résiduelles agricoles et alimentaires	5
Étape D : Potentiel agronomique anticipé de production	5
Étape D+ : Synthèse de la Phase 1	5
3. IDENTIFICATION DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION ET DES FILIÈRES INDUSTRIELLES CONCURRENTES	7
4. IDENTIFICATION DES TYPES DE CULTURES ET DE BIOMASSES RÉSIDUELLES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES	36
4.1 Caractéristiques recherchées	36
4.2 Rendements	37
4.3 Coûts de production	41
5. POTENTIEL AGRONOMIQUE ANTICIPÉ	45
5.1 Volumes de production	45
5.2 Analyse régionale	48
6. SÉLECTION DES FILIÈRES BIOINDUSTRIELLES LES PLUS PROMETTEUSES	55
6.1 Critères de sélection	55
6.2 Justification du choix des filières	64
RÉFÉRENCES	69
BIBLIOGRAPHIE	76
ANNEXES	81
ANNEXE 1 : DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE	87
ANNEXE 2 : FICHES TECHNIQUES DES SOURCES DE BIOMASSE	160

Liste des tableaux

TABLEAU 1 – IDENTIFICATION DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE AGRICOLE	8
TABLEAU 2 – RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE AGRICOLE	12
TABLEAU 3 – ENJEUX RELATIFS AUX PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE AGRICOLE	23
TABLEAU 4 – VALEUR AJOUTÉE DES BIOPRODUITS ET FILIÈRES CONCURRENTES ET COMPLÉMENTAIRES	30
TABLEAU 5 – SOURCES DE BIOMASSE	37
TABLEAU 6 – RENDEMENTS DES DIFFÉRENTES SOURCES DE BIOMASSE	38
TABLEAU 7 – AUTRES COMPOSÉS D'INTÉRÊT	40
TABLEAU 8 – COMPARAISON DES PRIX ET MARGES BÉNÉFICIAIRES	42
TABLEAU 9 – SUPERFICIES DES CULTURES DÉJÀ ÉTABLIES AU QUÉBEC	45
TABLEAU 10 – VOLUMES DE PRODUCTION DE BIOMASSE AU QUÉBEC	46
TABLEAU 11 – LISTE DES CRITÈRES POUR LA SÉLECTION DES FILIÈRES LES PLUS PROMETTEUSES	56
TABLEAU 12 – ÉVALUATION DES FILIÈRES DE PRODUCTION DES BIOPRODUITS – CRITÈRES DISCRIMINANTS	57
TABLEAU 13 – ÉVALUATION DES FILIÈRES DE PRODUCTION DES BIOPRODUITS – CRITÈRES LIMITANTS ET ACCESSOIRES	59
TABLEAU 14 – RENDEMENT APPROXIMATIF DE L'ÉTHANOL EN FONCTION DE LA MATIÈRE PREMIÈRE	88
TABLEAU 15 – RÉSUMÉ DES COÛTS DE PRODUCTION D'ÉTHANOL EN DOLLARS AMÉRICAINS PAR GALLON (US \$/GALLON) ¹	90
TABLEAU 16 – COÛTS DE PRODUCTION DE L'ÉTHANOL MAÏS ET CELLULOSIQUE PAR VOIE ENZYMATIQUE	97

TABLEAU 17 – USINES DE BIODIÉSEL EN FONCTION AU CANADA.....	103
TABLEAU 18 – RENDEMENTS COMPARÉS POUR TROIS TYPES DE BIOMASSE CELLULOSIQUE	114
TABLEAU 19 – COÛTS D’OPÉRATION SELON LE TYPE DE BIOMASSE	118
TABLEAU 20 – RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE SELON LE TYPE D’ÉNERGIE OU DE BIOMASSE	120
TABLEAU 21 – PRINCIPALES HUILES POUR TRANSFORMATEURS ÉLECTRIQUES DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ EN 2005.....	146
TABLEAU 22 – AVOINE	160
TABLEAU 23 – BLÉ.....	162
TABLEAU 24 – MAÏS.....	164
TABLEAU 25 – ORGE	166
TABLEAU 26 – POMME DE TERRE.....	168
TABLEAU 27 – TRITICALE	170
TABLEAU 28 – BETTERAVE À SUCRE	172
TABLEAU 29 – CHICORÉE.....	174
TABLEAU 30 – MILLET PERLÉ SUCRÉ ET SORGHO SUCRÉ.....	176
TABLEAU 31 – TOPINAMBOUR.....	178
TABLEAU 32 – PLANTES FOURRAGÈRES.....	180
TABLEAU 33 – PANIC ÉRIGÉ	182
TABLEAU 34 – SAULE À CROISSANCE RAPIDE.....	184
TABLEAU 35 – PEUPLIER HYBRIDE	186
TABLEAU 36 – CHANVRE INDUSTRIEL	188
TABLEAU 37 – MISCANTHUS GIGANTEUS	190
TABLEAU 38 – SOYA.....	192
TABLEAU 39 – CANOLA/COLZA.....	194
TABLEAU 40 – TOURNESOL	196
TABLEAU 41 – LIN.....	198
TABLEAU 42 – CAMELINA SATIVA	201
TABLEAU 43 – PAILLE DE CÉRÉALES	203
TABLEAU 44 – TIGES DE MAÏS.....	205
TABLEAU 45 – RÉSIDUS FORESTIERS.....	207
TABLEAU 46 – DÉJECTIONS ANIMALES	209
TABLEAU 47 – FACTEURS DE CONVERSION ET TAUX DE ROTATION (ÉLEVAGE).....	211
TABLEAU 48 – PRODUCTION DE BIOMASSE RÉSIDUELLE ANIMALE, BIOGAZ, MÉTHANE ET ÉNERGÉTIQUE	212

Liste des figures

FIGURE 1 – LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DU PROJET	3
FIGURE 2 – APPROVISIONNEMENT D'UNE FILIÈRE DE BIOPRODUIT	44
FIGURE 3 – CÉRÉALES, OLÉAGINEUX, LÉGUMINEUSES ET AUTRES GRAINS : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)	48
FIGURE 4 – FOURRAGES RÉCOLTÉS : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)	49
FIGURE 5 – PÂTURAGES ET FOURRAGES NON RÉCOLTÉS : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)	50
FIGURE 6 – SUPERFICIES NON CULTIVÉES : TOTAL EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007).....	51
FIGURE 7 – SUPERFICIES EN FRICHE EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)	52
FIGURE 8 – FRUITS, LÉGUMES FRAIS ET LÉGUMES DE TRANSFORMATION : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)	53
FIGURE 9 – SUPERFICIES ET PRODUCTIONS TOTALES, EN MILLIERS D'HECTARES (2007)	54
FIGURE 10 – UTILISATION POSSIBLE DU CANOLA.....	109
FIGURE 11 – SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN EXTRUDEUR.....	116
FIGURE 12 – LA BIOMÉTHANISATION À LA FERME	134
FIGURE 13 – PROCESSUS DE VALORISATION DES EFFLUENTS ET DES BIOPRODUITS PAR LA BIOMÉTHANISATION	138
FIGURE 14 – SCHÉMA D'UNE USINE DE DISTILLATION.....	155

Liste des unités

h/j	heures par jour
km	Kilomètres
kWh	Kilowattheures
M\$	Millions de dollars canadiens
M litres	Millions de litres
Mt	Millions de tonnes
\$/kg	Dollars canadiens par kilogramme
\$/kW	Dollars canadiens par kilowatt
\$/kWh	Dollars canadiens par kilowattheure
\$/l	Dollars canadiens par litre
\$/an	Dollars canadiens par année
\$/m ³	Dollars canadiens par mètre cube
\$US/l	Dollars américains par litre
\$US/kg	Dollars américains par kilogramme
t	Tonnes
t/an	Tonnes par année
t/j	Tonnes par jour

1. CONTEXTE

La production de bioproduits industriels à valeur ajoutée est un phénomène qui prend de l'ampleur. L'engouement que connaît le secteur tient à divers facteurs. En effet, un nombre croissant de pays souhaitent développer ce type de filière dans le but de réduire leur dépendance à l'égard des combustibles fossiles et de leurs produits dérivés, tout en contribuant à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). De plus, plusieurs pays considèrent que les nouveaux débouchés qu'offre le secteur des bioproduits industriels issus de biomasses agricoles bénéficieront aux agriculteurs et aux collectivités rurales.

Les bioproduits industriels (produits non alimentaires et non pharmaceutiques) sont élaborés à partir de biomasses telles que les plantes cultivées, les arbres, les végétaux aquatiques, les animaux et leurs résidus. À partir de ces biomasses, on peut fabriquer des bioproduits tels que des biocarburants (éthanol, biodiésel) et des biocombustibles solides (granules), liquides (biohuile) ou gazeux (méthane), des matériaux d'origine renouvelable (biofibres, biocomposites, bioplastiques, etc.), des bioproduits de la chimie verte (biolubrifiants, biosolvants, etc.) et des produits spécialisés en phytoproduction (biopesticides, biofertilisants, etc.). Ces bioproduits industriels sont destinés à des marchés diversifiés, locaux et internationaux, et peuvent être élaborés non seulement à partir de biomasses d'origine agricole, mais également de biomasses d'origine non agricole.

D'emblée, la production de bioproduits industriels à partir de matières premières provenant de la biomasse agricole et forestière est perçue, actuellement, comme étant une solution ou une alternative possible face aux défis que représentent les changements climatiques, la dépendance à l'égard des combustibles fossiles, la hausse des prix des produits pétroliers et la dynamisation du secteur agricole. Les cultures agricoles dédiées et les matières agricoles résiduelles contiennent des acides gras, des sucres et des protéines pouvant être transformés en bioproduits. Il s'agit alors de comprendre quelle peut être la contribution du secteur agricole et alimentaire québécois dans ce secteur émergent. Comment l'industrie québécoise peut-elle prendre sa place dans ce développement? Comment le secteur agricole peut-il tirer profit du développement de ces filières compte tenu de la concurrence, tant au niveau des procédés que pour l'utilisation d'intrants?

Dans la foulée du rapport Pronovost qui propose notamment de favoriser au Québec le développement d'une agriculture plurielle et diversifiée, le MAPAQ s'intéresse au potentiel qu'offrent les bioproduits comme source de revenus pour les producteurs agricoles québécois. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la rentabilité, la compétitivité, et les impacts économiques de certaines filières bioindustrielles à base d'intrants agricoles québécois présentant le plus fort potentiel de succès d'un point de vue agricole.

En fonction de cet objectif, la méthodologie adoptée par ÉcoRessources pour répondre aux objectifs du MAPAQ vise d'abord à sélectionner les intrants les plus opportuns entre les différentes avenues possibles, d'un point de vue technique et agronomique, et d'identifier les filières de bioproduits les plus prometteuses (Phase 1), avant de procéder à l'analyse de la rentabilité et l'analyse économique des filières bioindustrielles et des produits les plus porteurs (Phase 2).

Compte tenu du fait que les données requises pour cette étude ne sont pas toujours accessibles et que les filières sont dans certains cas encore aux premières étapes de développement, l'étude est réalisée dans une optique d'étude de pré faisabilité. L'analyse propose des hypothèses et des grandes lignes de directions.

2. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE

La Figure 1 présente l'approche générale suivie pour la réalisation de ce mandat et montre comment les diverses étapes s'enchaînent et s'alimentent entre elles.

La première phase du projet (Étapes A à D) vise à déterminer sur une base technico-agronomique les filières bioindustrielles à base d'intrants agricoles les plus prometteuses qui mériteront d'être évaluées sous l'angle économique à la phase 2 (Étapes E à J).

La première phase permet d'étudier en parallèle les filières industrielles de bioproduits utilisant des intrants agricoles, ainsi que les filières concurrentes au Québec utilisant d'autres intrants non agricoles (par exemple, les matières résiduelles forestières, les biomasses résiduelles urbaines, etc.) et les filières concurrentes hors Québec.

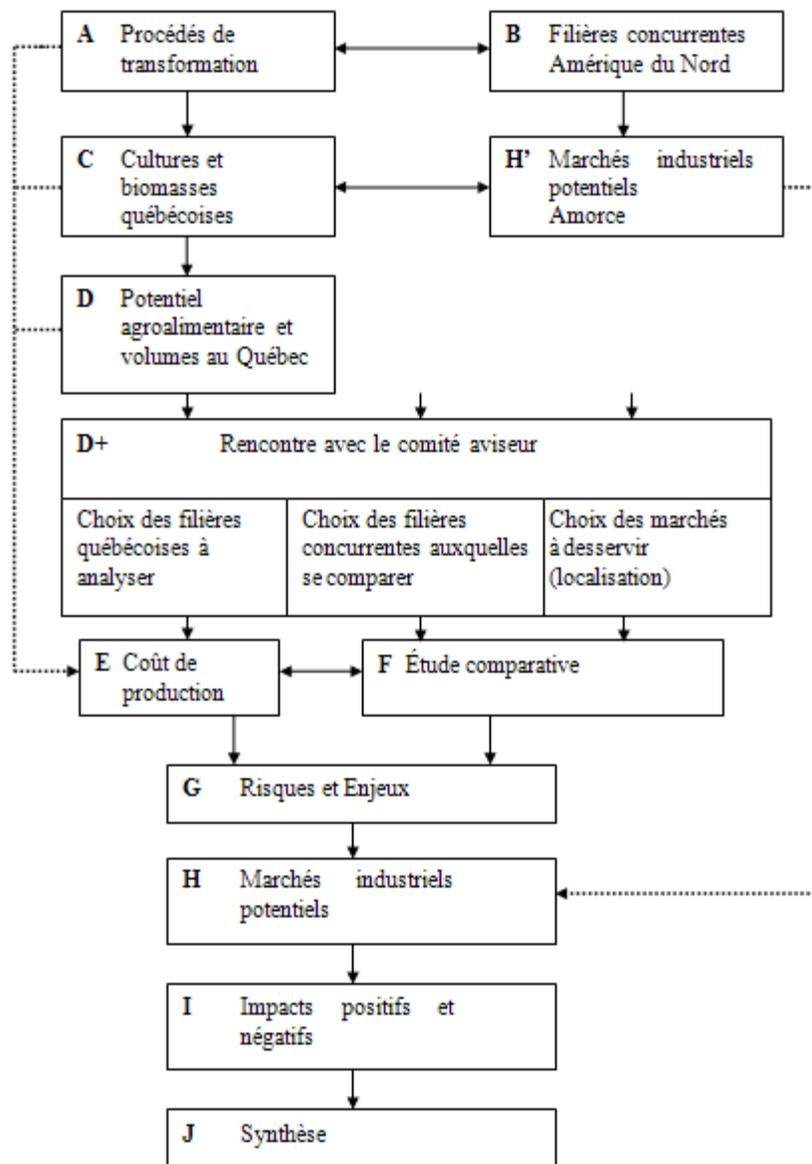
Une filière est ici définie hiérarchiquement par 1) le procédé de transformation et 2) la matière première.

Dans le cadre de cette étude, quatre grands types de biomasses sont considérés comme matière première potentielle :

- **cultures amylacées** (maïs, céréales à paille dont le triticales) et sucrées (millet perlé sucré, topinambour, etc.) sur des sols actuellement en culture, en friche ou sur des terres marginales;
- **biomasses lignocellulosiques** (panic érigé, saule à croissance rapide, fourrages, chanvre industriel, etc.) sur des sols actuellement en culture, en friche ou sur des terres marginales;
- **matières organiques résiduelles végétales** (pailles céréalières, tiges de maïs, résidus de transformation) et **animales** (déjections, résidus de transformation);
- **cultures oléagineuses** (soya, canola, lin) pour l'approvisionnement de bioraffineries oléochimiques, sur des sols actuellement en culture, en friche ou sur des terres marginales.

La compétitivité de ces quatre types de biomasses est établie en abordant trois grandes dimensions en 10 étapes (Figure 1): i) les aspects techniques des filières bioindustrielles; ii) l'évaluation économique de la rentabilité et des avantages comparatifs de ces filières et iii) l'évaluation générale des retombées positives et négatives sur l'agriculture et l'industrie agroalimentaire québécoise.

FIGURE 1 – LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DU PROJET



La méthodologie retenue s'apparente au processus du tamisage pour ne retenir que les intrants de source agricole ou non agricole offrant un potentiel technique certain.

Étape A : Identification des procédés de transformation

Cette première étape vise à identifier les procédés de transformation des intrants en bioproduits industriels applicables au Québec (*premier filtre*). L'étude identifie à la fois les procédés technologiques existants (fermentation, densification, etc.) et ceux en développement (gazéification, pyrolyse, hydrolyse enzymatique de la cellulose, etc.), et ce, dans une perspective actuelle, à court et à moyen terme (3 à 10 ans).

Les procédés technologiques de transformation en bioproduits industriels à partir des quatre types d'intrants agricoles définis plus haut sont documentés. Ces procédés permettent donc d'utiliser des matières premières agricoles, en remplacement des ressources fossiles conventionnelles, principalement dans les domaines de l'énergie, de la chimie et des matériaux.

Dans le domaine de la bioénergie, il est possible de distinguer les biocarburants de première et deuxième générations (bioéthanol et biodiésel), les carburants renouvelables de troisième génération, ainsi que les autres formes de bioénergies, telles que les biocombustibles solides (granules de biomasse, charbon de bois, biocharbon), liquides (biohuile) et gazeux (biogaz et syngaz).

Dans le domaine de la chimie verte, les procédés de bioconversion permettent l'utilisation de matières premières agricoles pour la fabrication de produits ayant des applications variées, telles que les lubrifiants, solvants, adhésifs et résines, détergents et surfactants, peintures et encres, éléments précurseurs (acides, alcools et esters), catalyseurs (enzymes) et les huiles essentielles.

Dans le domaine des matériaux d'origine renouvelable, les procédés permettent de valoriser les fibres végétales dans des matériaux composites et polymères. Cette catégorie comprend alors les bioplastiques, les biofibres et les biocomposites biomasse/polymère, ainsi que ceux à base de fibres végétales.

Cette étape permet simultanément d'identifier les principaux intervenants actifs de chaque filière bioindustrielle tels que les organismes de recherche québécois ou non, les firmes nord-américaines de transformation de bioproduits, les détenteurs de brevets, etc.).

Étape B : Identification des filières industrielles concurrentes

Cette étape vise à identifier et documenter les filières industrielles de bioproduits concurrentes au Québec et hors Québec, utilisant ou non des intrants d'origine agricole (par exemple, le potentiel des matières résiduelles forestières et les biomasses résiduelles urbaines ainsi que les hydrocarbures conventionnels). Cette étape consiste également à identifier les principaux intervenants actifs des filières bioindustrielles concurrentes, au Québec ou à l'extérieur du Québec, utilisant ou non des intrants agricoles.

Dans un premier temps, les aspects qualitatifs des matières premières utilisées pour la fabrication de bioproduits concurrents sont documentés, en termes de contenu en acides gras, sucres (incluant cellulose) et protéines. Les différentes matières premières de source concurrente et complémentaire pouvant être utilisées par les différents secteurs de l'industrie des bioproduits sont comparées sur une même base d'un point de vue qualitatif. Dans un deuxième temps, les intrants utilisés et leurs caractéristiques sont mis en relation avec les procédés de valorisation identifiés. Ceci facilite l'analyse de la concurrence potentielle que pourraient se livrer les différents secteurs de l'industrie des bioproduits pour les matières premières valorisables et leurs composés d'intérêt à moyen et long terme.

Un autre élément crucial dans l'étude comparative porte sur l'identification des marchés desservis. Les coûts de transport pouvant avoir un impact déterminant sur la rentabilité des filières, celles-ci sont alors comparées sur la base de livraisons dans les grandes villes nord-américaines. L'analyse comparative est donc effectuée à l'échelle nord-américaine (et non mondiale).

L'identification des filières concurrentes sert de base à la réalisation de l'étape F visant à évaluer la rentabilité et la compétitivité des filières bioindustrielles du Québec et des filières concurrentes.

Étape C : Identification des types de cultures et de biomasses résiduelles agricoles et alimentaires

Cette étape vise à déterminer les types de cultures et de biomasses résiduelles agricoles et alimentaires susceptibles d'être techniquement utilisés au Québec, dans un court et moyen terme, pour approvisionner les procédés spécifiés à l'étape A (*deuxième filtre*). Cette étape permet d'identifier les cultures rentables qui pourront servir d'intrants aux filières bioénergétiques, des biocarburants et biocombustibles ainsi qu'aux filières des matériaux d'origine renouvelable et des bioproduits de la chimie verte.

Cette identification se base avant tout sur le potentiel technique d'implantation, de récolte et de transport des cultures agricoles à développer ainsi que sur l'utilisation potentielle des biomasses résiduelles. Les intrants non prometteurs sur le court et moyen terme sont alors écartés des évaluations économiques suivantes.

Étape D : Potentiel agronomique anticipé de production

Cette étape permet d'évaluer globalement le potentiel agronomique anticipé de production des cultures identifiées précédemment (*troisième filtre*). En effet, il ne suffit pas d'avoir sélectionné des procédés porteurs et d'avoir identifié les intrants agricoles susceptibles d'approvisionner ces procédés, il importe également de s'assurer que le Québec compte un potentiel agronomique suffisant pour produire les quantités d'intrants requises pour soutenir le développement de filières de bioproduits.

Cette étape vise donc à déterminer les volumes d'intrants d'origine agricoles (cultures et biomasses résiduelles agricoles et alimentaires) pouvant être produits au Québec d'ici dix ans. Dans un premier temps, il s'agit donc d'identifier d'une part, les zones de production potentielles, dont celles sur les sols en friche et les terres marginales du Québec, d'évaluer les rendements et les volumes de cultures pouvant alimenter les filières bioindustrielles et d'évaluer les volumes potentiels exploitables des divers types de biomasses résiduelles agricoles et alimentaires au Québec. Dans un deuxième temps, différents scénarios d'avenir pour la production totale des différentes matières premières au Québec sont établis à l'aide de données historiques.

Étape D+ : Synthèse de la Phase 1

Les étapes A à D ayant permis d'identifier les procédés de transformation et les intrants agricoles (cultures et biomasses résiduelles agricoles et alimentaires) offrant le plus de potentiel technique et agronomique, il est désormais possible de choisir, à partir d'une liste de critères, les filières bioindustrielles à base d'intrants agricoles paraissant être les plus prometteuses, devant être étudiées dans la phase 2 sous l'angle de leur potentiel économique.

Plusieurs filières ont été documentées dans les différentes fiches techniques présentées à l'Annexe 1. Un processus de sélection a été effectué (Section 6) à partir d'une liste de critères permettant de prendre en compte l'ensemble des informations rassemblées sur les procédés de transformation et les intrants agricoles pouvant les alimenter. Ces critères n'ont pas toute la même importance dans l'identification des filières prometteuses :

- Les critères discriminants : Maturité technologique; Disponibilité et variabilité de la biomasse.
- Les critères limitants : Valeur ajoutée; Potentiel de développement; Potentiel de rentabilité; Réglementations; Marchés locaux; Bilan environnemental.
- Les critères accessoires : Disponibilité des données; Brevet.

L'analyse permet donc d'identifier les filières bioindustrielles et les filières industrielles concurrentes, qui utilisent des intrants agricoles (hors Québec) ou non agricoles (matières résiduelles forestières et biomasses résiduelles urbaines) auxquelles il faudra comparer les filières québécoises prometteuses. L'objectif est de limiter à six le nombre de filières concurrentes pour l'analyse de la rentabilité et les coûts de revient à la phase 2.

Ce rapport préliminaire comprend donc les résultats de la réalisation des étapes A à D, permettant de conclure la phase 1, et sert de base pour l'analyse et le choix final des filières à étudier à la phase 2 (étapes E à J).

3. IDENTIFICATION DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION ET DES FILIÈRES INDUSTRIELLES CONCURRENTES

Parmi le grand nombre de procédés possibles pour la transformation d'intrants agricoles en bioproduits industriels, une première sélection des procédés les mieux connus et documentés a été effectuée (Tableau 1). Il est à noter que certaines filières n'ont pas été considérées pour cause de manque d'information, d'expertise ou de temps dans le cadre du mandat, dont les biocomposites (matériaux d'origine renouvelable), les biopolymères et certains produits de la chimie verte (adhésifs et résines, peintures et encres).

Les procédés de transformation des intrants en bioproduits industriels sont décrits en détail dans les différentes sections de l'Annexe 1. De façon générale, les informations sont regroupées en cinq points :

- Brève description, incluant le rendement en bioproduits et en coproduits, les usines existantes dans le monde et les marchés déjà desservis.
- Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à court et à moyen terme, en regard des avantages techniques, économiques ou environnementaux pour le Québec :
 - ⇒ Maturité technologique (statut d'avancement et horizon d'implantation) et adaptabilité de la technologie au contexte québécois,
 - ⇒ Investissement requis,
 - ⇒ Coûts d'opération,
 - ⇒ Coûts de transports et de manutention (des bioproduits finaux),
 - ⇒ Rentabilité probable (prix vs coûts),
 - ⇒ Enjeux,
 - ⇒ Approvisionnement,
 - ⇒ Éléments techniques,
 - ⇒ Problématiques commerciales,
 - ⇒ Aspects réglementaires,
 - ⇒ Subventions et pérennité des marchés,
 - ⇒ Bilan énergétique et impacts environnementaux.
- Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé.
- Évaluation de la valeur du bioproduit fini : par exemple valeur ajoutée, marchés industriels potentiels, réseaux en place, prévisions de prix sur le marché, autres impacts positifs et négatifs associés au développement de la filière.
- Filières concurrentes et complémentaires :
 - ⇒ Utilisant des sources agricoles et non agricoles,
 - ⇒ Éléments de compétitivité,
 - ⇒ À l'échelle nord-américaine (filières se livrant compétition pour les mêmes produits finis, matières premières et filières complémentaires).

Le Tableau 1 permet de faire le lien entre les différents procédés de transformation et les sources d'intrants pouvant être valorisées par chaque procédé.

Le Tableau 2 présente une synthèse des informations relatives aux possibilités d'implantation au Québec à moyen terme, telles que l'état actuel de développement de la technologie et son potentiel de développement dans le contexte québécois, les investissements requis, les coûts d'opération et les coûts de transports, ainsi que la rentabilité probable.

Le Tableau 3 résume les divers enjeux relatifs à chaque filière, alors que le Tableau 4 rassemble l'information sur la valeur ajoutée des bioproduits et filières concurrentes et complémentaires.

TABLEAU 1 – IDENTIFICATION DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE AGRICOLE

Procédé-Bioproduit	Description du procédé	Intrants possibles
Bioénergie		
Fermentation - Bioéthanol	Production d'un alcool éthylique par la fermentation de sucres suivie d'une distillation (procédé de première génération).	Biomasse riche en sucre (canne à sucre, millet perlé et sorgho sucré, betterave sucrière, etc.). Biomasse riche en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.).
Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique	Utilisation d'enzymes capables de libérer et d'hydrolyser la cellulose en glucose. Ce sucre peut ensuite servir à la fabrication d'éthanol par des procédés traditionnels de fermentation et de distillation (procédé de deuxième génération).	Résidus agricoles (pailles de céréales et de maïs, fourrages déclassés non commercialisés, etc.). Résidus forestiers (parterre de coupe, bois impropre à la transformation, etc.). Résidus industriels (résidus de meunerie, copeaux, bran de scie, papiers et cartons, etc.). Cultures énergétiques (panic érigé, miscanthus, alpiste roseau, etc.). Plantes ligneuses à courte rotation (saule, peuplier hybride, etc.).
Transestérification - Biodiésel	Transformation de corps gras d'origine animale ou végétale en esters, par l'entremise d'une réaction appelée la transestérification, qui a lieu lorsqu'un corps gras est mélangé à un alcool, tel que le méthanol, en présence d'un catalyseur (hydroxyde de potassium) (procédé de première génération).	Cultures oléagineuses (principalement l'huile de soya et de canola, ainsi que l'huile de lin, de tournesol et de cameline de la famille des moutardes). Résidus organiques végétaux (huiles de frites et graisses de trappe). Résidus organiques animaux (résidus d'abattoir et l'huile de poisson).
Gazéification - Carburant renouvelable	Transformation sous l'effet de la chaleur d'un produit organique solide ou liquide en gaz. Ce gaz, le syngaz, peut être utilisé comme combustible pour produire de l'énergie ou comme matière première pour la fabrication d'alcools, d'éthers et d'hydrocarbures (procédé de troisième génération).	Matière organique solide, liquide ou semi-solide d'origine végétale ou animale, résidus agroforestiers. Résidus de transformation des produits agricoles et agroalimentaires, plante à croissance rapide, graisse animale, résidus de fabrication de biodiésel (glycérine, tourteau), de bioéthanol (drèche), de méthanisation (digestat), de pyrolyse (biocharbon) etc.
Densification - Biocombustible solide - Granules	Extrusion de la biomasse broyée qui est pressée à l'aide de rouleaux sur la paroi intérieure d'une matrice cylindrique perforée. La biomasse est par la suite sectionnée à une longueur fixe à l'aide de couteaux. Le procédé consiste à broyer, à conditionner et à granuler la biomasse.	Résidus du bois. Cultures lignocellulosiques (saule à croissance rapide, peuplier hybride, panic érigé, <i>Miscanthus giganteus</i> et alpiste roseau). Résidus agricoles (résidus de mouture commercialisés pour la production de chaleur qui proviennent du son de blé, des balles ¹ d'avoine et des anas de lin; les épis ² de maïs et les balles sont aussi utilisés).

¹ Une balle est un déchet résultant du battage des céréales, constitué par les glumes et par les glumelles (Office de la langue française).

² Considérés ici comme les résidus d'émondage de grains de maïs

Procédé-Bioproduit	Description du procédé	Intrants possibles
Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon	Décomposition thermique lente de la biomasse en l'absence d'air qui génère du biocharbon comme produit principal.	Cultures herbacées ou ligneuses (telles que le panic érigé, le miscanthus, le saule et le peuplier). Résidus ligneux des productions végétales (pailles issues des cultures céréalières et oléagineuses ou résidus de cultures fourragères).
Pyrolyse - Biocombustible liquide - Biohuile	Décomposition d'une substance organique solide comme la biomasse végétale sous l'effet de la chaleur et en déficit d'air, en liquide (biohuile), solide (biocharbon) et gaz.	Matière organique solide, liquide ou semi-solide d'origine végétale ou animale, résidus agroforestiers, résidus de transformation des produits agricoles et agroalimentaires, plantes à croissance rapide, graisse animale, résidus de fabrication de biodiésel (glycérine, tourteau), de bioéthanol (drèche), de méthanisation (digestat) etc.
Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz	Digestion anaérobique de la matière organique qui produit du biogaz; les biodigesteurs agricoles valorisent le biogaz par cogénération avec usage interne de la chaleur; ou sous forme de chaleur seulement par l'intermédiaire d'une chaudière à gaz disposant d'un injecteur adapté.	Effluents d'élevage. Résidus de culture (paille et ensilage), résidus de transformation agroalimentaire (gras et viscères, lactosérum, résidus de fruits et de légumes). Résidus et boues municipales, commerciales ou industrielles.
Matériaux d'origine renouvelable		
Biofibre	Procédés secs de fabrication de panneaux d'isolation thermique, en nattes ou en matelas semi-rigides, comprenant les étapes de défection des balles de paille, le nettoyage de la paille pour enlever la poussière minérale et les roches, le broyage, le séchage, l'encollage avec des liants synthétiques ou naturels, la formation du matelas et la compression.	Matière ligno-cellulosique et agroforestière/liant.
Chimie verte		
Biolubrifiant	Production d'huiles isolantes à base oléochimique à partir des triglycérides d'acide oléique qui ont été hydrogénés pour réduire les insaturations ou frigélisés par fractionnement à froid.	Cultures oléagineuses telles que le soya et le canola. Résidus d'abattoir.
Transestérification : Biosolvant	Fabrication de biosolvants liquides obtenus par transestérification de triglycérides avec un alcool approprié (méthanol, ou autres).	Sources oléochimiques vierges (soya, canola et camélina) utilisées également pour la production de biodiésel.
Détergent et surfactant	Fabrication d'acides et d'alcools gras par divers procédés de synthèse (hydrolyse de triglycérides, réduction et oxydation).	Différentes sources oléagineuses [soya, canola, tournesol, lin, palmier oléagineux, cocotier et ricin (acide ricinoléique)].

Procédé-Bioproduit	Description du procédé	Intrants possibles
Biocatalyseur	Fabrication de biocatalyseurs (enzymes microbiennes) par des procédés de fermentation.	Micro-organismes d'origine animale ou végétale (bactéries, champignons unicellulaires et algues unicellulaires). La nature du substrat d'origine dépend de la transformation biochimique désirée.
Synthèse de l'acide azélaïque - Élément précurseur	Synthèse de l'acide azélaïque en milieu fortement oxydant (différent de l'ozonolyse).	Huiles extraites de plantes oléagineuses telles que le soya et le canola (espèces riches en acide oléique).
Distillation - Huiles essentielles	Extraction par distillation des composés volatils d'une plante ou d'un liquide immergé dans un liquide en ébullition, permettant ainsi de récupérer ces composés grâce à la vapeur.	Plantes et arbres aromatiques tels que les conifères (pins, sapins, genévriers, cèdre, thuya, etc.), labiées (plantes aromatiques des régions tempérées : thym, sarriette, romarin, mélisse, origan, marjolaine, menthe, basilic, etc.), ombellifères (anis, fenouil, cumin, carvi, carotte, coriandre, etc.), myrtacées (myrte, eucalyptus, cajepout, niaouli, etc.), lauracées (laurier, cannelle, camphre, sassafras, etc.), rutacées (citrons, oranges, pamplemousses, bergamote), graminées (citronnelle, lemon-grass, palmarosa, vétiver, etc.).

À la lumière des informations présentées au Tableau 1, les procédés qui valorisent les sources de biomasse de type résiduel devraient être privilégiés pour les étapes subséquentes de notre analyse. En effet, les résidus forestiers (parterre de coupe, bois impropre à la transformation), les résidus agricoles (pailles de céréales et de maïs, effluents d'élevage), ainsi que les résidus industriels (résidus de meunerie, copeaux, bran de scie, papiers et cartons) représentent un potentiel important pour l'approvisionnement des filières de bioproduits, non seulement en raison de leur abondance, mais également du fait que ces résidus peuvent être utilisés par plusieurs filières différentes. Le fait qu'une filière puisse valoriser plusieurs sources de biomasse produites au Québec est l'un des critères de base pour la sélection des filières qui seront analysées en profondeur lors des étapes subséquentes de l'étude technico-économique. Dans une perspective de réduction des coûts pour assurer la rentabilité d'une usine, les matières résiduelles semblent constituer un choix logique pour la production de bioproduits, étant donné qu'elles ont une valeur marchande généralement faible. Aussi, la valorisation de ces matières n'a aucun impact sur la production d'aliments, ce qui réduit le risque d'impact négatif sur l'opinion publique.

D'ailleurs, la production de certaines cultures à croissance rapide sur des terres en friche ou des jachères (saule à croissance rapide, peuplier hybride, panic érigé, *Miscanthus giganteus* et alpiste roseau) peut venir compléter l'approvisionnement de ces mêmes filières, pourvu qu'elle puisse s'effectuer à faibles coûts et de manière à ne pas entrer en compétition avec l'industrie alimentaire.

À l'opposé, les filières qui valorisent des sources de biomasses qui sont cultivées avec une grande quantité d'intrants sur des terres qui servent présentement à la production d'aliments ne représentent pas un intérêt particulier, étant donné le coût élevé de ce type de biomasse et la quantité restreinte disponible pour l'approvisionnement des filières industrielles.

TABLEAU 2 – RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE AGRICOLE

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Bioénergie			
Fermentation - Bioéthanol	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Éprouvée depuis plusieurs années. - Échelle de production commerciale. - Présence d'une usine qui a démontré son adaptabilité au Québec. <p>Potentiel de développement</p> <p>Peu élevé compte tenu de la rentabilité probable.</p>	<p>Investissements : 1,25 à 2 \$US/gallon ($\pm$ 0,33 à 0,53 \$/litre), diminution probable des coûts avec l'augmentation de la production (Clean Fuels Development Coalition, 2006).</p> <p>Coût de production et rentabilité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De 1,03 à 3,95 \$US/gallon ($\pm$ 0,27 à 1,04 \$/litre), dépendant de la source de biomasse (United States Department of Agriculture, 2006). - Variables selon le prix de la matière première, le prix de vente de l'éthanol, le prix de l'essence et la valeur des coproduits sur le marché. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile avec l'augmentation de la demande pour le maïs, causant une augmentation des coûts. - Précaire compte tenu de l'augmentation de la production d'éthanol et donc de la disponibilité et du prix des coproduits.
Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nécessite encore plusieurs années de recherche avant d'atteindre la maturité commerciale (8 à 10 ans). <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'investissements et de production élevés. - Enjeux de disponibilité, d'approvisionnement et de qualité fluctuante des intrants (résidus agricoles et forestiers). - À maturité, adaptation possible avec des modèles d'approvisionnement traitant entre 100 000 et 200 000 t de biomasse cellulosique dans un rayon de 70 à 80 km) (Mesly, 2008). 	<p>Investissements : Variables selon la technologie et la capacité de production. De 1,14 à 1,45 \$ US/l (Collins, 2006).</p> <p>Coûts de production :</p> <p>Devront être concurrentiels par rapport à l'éthanol mais pourraient devenir inférieurs à l'éthanol produit par fermentation lorsque le processus sera à maturité (Tao et Aden, 2009).</p> <p>Transport des matières premières : Coûts plus élevés étant donné la dispersion des terres marginales et en friches ainsi que la faible densité des résidus, si transportés avant une première étape de transformation.</p> <p>Transport de l'éthanol : Non problématique car régit par les mêmes règles que l'essence.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Développement de cultures, de bactéries, de levures et d'enzymes plus efficaces nécessaire pour réduire le temps de traitement et les coûts de production. - Amélioration de la logistique de transport pour permettre un approvisionnement constant des usines à un prix concurrentiel.

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Transestérification - Biodiésel	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bonne maturité. - Présence de producteurs commerciaux dans le monde. - Présence d'une usine au Québec. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enjeux liés à la disponibilité de la matière première et coût du transport élevé. - Analyses coûteuses (2000 \$/lot) pour la certification qui permet la mise en marché et besoin d'une garantie de qualité de la source d'approvisionnement qui est difficile à obtenir. 	<p>Investissements :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selon l'exemple de Sanimax au Wisconsin, 22 M\$ pour une capacité de production de 75 millions de litres par an. - Il est plus avantageux d'avoir une grande capacité de production, notamment à cause des frais de certification élevés et des économies d'échelle. <p>Coûts de production :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variables selon le coût de la matière première. <p>À partir d'huiles non-vierges et ou de graisses recyclées : entre 0,26 et 0,31 \$/l aux États-Unis en 2007.</p> <p>À partir de soya vierge : entre 0,51 et 0,68 \$/l aux États-Unis en 2007.</p> <p>Transport du biodiésel : Probablement à l'aide du réseau de transport et de distribution du diésel pétrochimique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Liée directement à la capacité de production et au prix du pétrodiesel.

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Gazéification - Carburant renouvelable	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation pour la production d'électricité à court terme et pour la synthèse de biocarburants à moyen terme (5 à 10 ans). - Usine prévue pour 2012 en Allemagne (1 Mt/an). - Au Québec, usine de Westbury, propriété de la compagnie Enerkem, produira à terme 4 millions de litres de méthanol et d'éthanol à partir d'un procédé de gazéification utilisant du « bois urbain » comme principale matière première. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peut être adapté aux contraintes des milieux ruraux. - Création souhaitable d'entreprises ou de coopératives de producteurs pour approvisionner les usines de gazéification afin de surmonter les enjeux du manque de matières premières et les coûts de transport. - Création de nombreux emplois. - Respect de l'environnement. - Implantation possible en aval d'autres procédés. 	<p>Investissements : Variables selon la capacité de production et de la technologie utilisée. 80 M\$ pour une unité de 100 000 t/an pour une usine du type Enerkem.</p> <p>Coûts de production :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variables selon le coût de la biomasse, du capital, du taux d'intérêt, de l'utilisation de la capacité de production et du taux de dépréciation. - Confidentiel car encore au stade pilote. <p>Coûts de transport :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transport des gaz difficile dans les milieux ruraux. Besoin de posséder un réseau de distribution d'électricité ou se connecter au réseau d'Hydro-Québec. De plus, le stockage n'est pas rentable. - Pour diminuer les coûts de transport de la matière première, celle-ci doit être située à proximité de l'usine. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile à estimer car la technologie n'est toujours pas au point. - Viable si des résidus à très faibles coûts (résidus municipaux et autres) sont utilisés et si la demande environnante en électricité est importante.

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
<p>Densification - Biocombustible solide - Granules</p>	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - De plus en plus populaire en Amérique du Nord. - Marché québécois limité, quelques producteurs bien implantés. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de croissance anticipée du marché québécois, plutôt les marchés d'exportation. - Faible motivation de favoriser la bioénergie avec les faibles coûts de l'électricité. - Tout reste à faire en matière de mise en marché. - Granules soumises aux critères de qualité des différents marchés. 	<p>Investissements (exemples) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 15 M\$ pour une usine d'une capacité annuelle de 100 000 t de granules à base de résidus forestiers de qualité résidentielle (Lease et al., 2008). - 13 M\$ pour une usine d'une capacité de production annuelle de 100 000 t de granules à base de biomasse agricole (Lease et al., 2008). - 7 M\$ pour une usine produisant 100 000 t/an de granules pour le chauffage (IREF, 2008). <p>Coûts d'opération : Variables selon la biomasse à conditionner, car les traitements vont être différents, ce qui a un impact direct sur le coût des opérations.</p> <p>Coûts de transport : Représentent une part importante étant donné l'éloignement des clientèles commerciales.</p> <p>Aides financières :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 24 M\$ sur 6 ans pour la valorisation énergétique de la biomasse agricole avec le Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques. - 104 M\$ pour le développement de nouvelles technologies stratégiques avec la Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation. 	<ul style="list-style-type: none"> - La rentabilité dépend de différents facteurs, soit l'approvisionnement en biomasse de qualité à proximité, de façon à réduire les coûts de transport, le prix de vente ainsi que le coût de production (Lease et al., 2008). - Le développement rapide de l'industrie de la densification suggère sa rentabilité économique, bien que la difficulté d'approvisionnement en biomasse à faible coût a récemment causé un ralentissement de la filière au Québec.

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
<p>Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon</p>	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Certains procédés existent à l'échelle commerciale. - Pas encore de procédés implantés au Canada. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Matières premières disponibles au Québec. - Rentabilité économique et environnementale intéressante, surtout s'il y a exportation d'une partie de la production. - Peut-être adaptée aux contraintes des milieux ruraux. - Création souhaitable d'entreprises ou de coopératives de producteurs pour surmonter les enjeux du manque de matières premières et du coût de transport. - Implantation possible en amont de la gazéification et en aval d'autres procédés. 	<p>Investissements :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variables selon la capacité de production et de la technologie utilisée. - 100 000 \$ pour une unité de Carbon Diversion Inc. de 4 t/j. <p>Coûts d'opération :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les coûts variables et fixes représentent respectivement 2,5 % et 2 % des coûts d'investissement. - Les coûts d'entreposage du biocharbon doivent être ajoutés <p>Transport de la biomasse : Problèmes de logistique, de consommation d'énergie et d'émissions de GES dus au volume dispersé.</p> <p>Transport du biocharbon : Grande densité énergétique, donc coûts très réduits dans des installations existantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le prix est celui du charbon minéral, qui varie beaucoup. - La rentabilité dépend du coût de la matière première. Compte tenu d'un prix du charbon en sac de 150 à 200 \$ par tonne, la biomasse devra être disponible à très bas prix sur une base de matière sèche pour que le procédé soit rentable.
<p>Pyrolyse - Biocombustible liquide – Biohuile</p>	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usines à l'échelle commerciale au Canada, aux États-Unis, en Europe et en Chine. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le Programme de réduction de consommation de mazout lourd de l'Agence de l'efficacité énergétique pourrait favoriser le développement de la filière. - Création souhaitable des entreprises ou de coopératives de producteurs pour surmonter les enjeux du manque de matières premières et du coût de transport. - Implantation possible en amont de la gazéification et en aval d'autres procédés. - Besoin d'envisager un mode d'entreposage de la biomasse permettant l'approvisionnement à l'année. 	<p>Investissements : Variables selon la capacité de l'usine et la technologie utilisée.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour la technologie ABRI : 4,8 M\$ pour 50 t/j ou 150 000 \$ pour une unité pilote de 1 t/j. - Pour la technologie Dynamotive : 17 M\$ pour une unité de 200 t/jour. <p>Coûts de production : Variables selon le coût de la biomasse, du capital, du taux d'intérêt et du taux de dépréciation.</p> <p>Transport de la biomasse : Problèmes de logistique, de consommation d'énergie et d'émissions de GES dus au volume de la biomasse.</p> <p>Transport de la biohuile : Grande densité énergétique, donc coûts très réduits dans des installations existantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le prix de vente de la biohuile brute ne doit pas dépasser la moitié du prix du mazout lourd (entre 0,30 et 0,40 \$/l). - L'augmentation du coût d'investissement de 40 % fait croître le coût de la biohuile de 12 % (Polagye et al., 2007). - Pour qu'une unité soit rentable, il faut que sa capacité de traitement soit supérieure à 500 t/j (Polagye et al., 2007). - Pas encore franchi l'étape d'unités de faible capacité, techniquement viables, économiquement rentables et socialement acceptables.

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
<p>Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz</p>	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédé reconnu en Asie depuis plusieurs années et en Europe depuis 20 ans. - Attention plus récente en Amérique du Nord. - Deux installations de biométhanisation de lisiers en opération au Québec. - Expertise technique pas encore très répandue. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nouvelle politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles, plusieurs projets de biométhanisation ont été annoncés début 2010. - Intéressant pour la valorisation des effluents d'élevage et d'un point de vue environnemental. - Économies annuelles avec la production d'énergie, la réduction d'achat d'engrais minéraux et la vente des crédits carbone. - Acceptable socialement (réduction des odeurs). - Programme de microproduction en développement pour le rachat de l'électricité. - Pas encore possible de recevoir des matières organiques provenant de l'extérieur de la ferme. 	<p>Investissements : Variables selon le type de système installé, la taille du système, la source d'intrants et la présence ou non d'une unité de cogénération.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 300 000 \$ pour une ferme laitière de 180 têtes. - 2 500 à 5 000 \$/kW. <p>Coûts d'opération :</p> <p>Coûts de main-d'œuvre de 1 à 2 h/j (technicien spécialisé) et d'entretien de la génératrice de 0,015 \$/kW (si production d'électricité).</p> <p>Aides financières :</p> <p>24 M\$ sur 6 ans pour la valorisation énergétique de la biomasse agricole avec le Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques. Cette somme a servi partiellement à financer le programme Prime-Vert : 70 % des frais admissibles avec un maximum de 200 000 \$/exploitation.</p> <p>Crédit d'impôt pour l'acquisition d'installations de traitement du lisier de porcs : remboursement de 30 % des frais avec un maximum de 200 000 \$ exploitation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pas rentable actuellement du point de vue de la production d'électricité. - Le coût de l'électricité produite à partir de la biométhanisation varie de 0,075 à plus de 0,20 \$/kWh, alors que le prix d'achat d'Hydro-Québec varie de 0,035 à 0,063 \$/kWh (Camirand, 2007; Perrault, 2007; Brodeur et al., 2008a). - Le seuil de rentabilité serait de 0,13 à 0,22 \$/kWh (Camirand, 2007; Perrault, 2007; Brodeur et al., 2008a). - Plus rentable de privilégier la valorisation thermique du biogaz. À la ferme, la rentabilité de la biométhanisation réside dans la somme des coûts évités (remplacement d'autres énergies, diminution de l'achat d'engrais, etc.) et des différents revenus supplémentaires obtenus.

Procédé - Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Matériaux d'origine renouvelable			
Biofibre	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés qui existent à l'échelle commerciale. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impacts socioéconomiques considérables. - Formation de partenariats qui stimuleront le développement économique et positionneront l'industrie agricole dans les régions. - Diversification des activités agricoles, accroissement du développement durable et de l'innovation industrielle. - Générateur d'emplois. - Nécessaire de faire la promotion auprès des clients (architectes, constructeurs et gestionnaires de l'énergie). 	<p>Investissements :</p> <p>50 à 60 M\$ pour une usine d'une capacité de 5 t/h ou 36 m³/h (CRIQ, 2009).</p> <p>Coûts d'opération (CRIQ, 2009) :</p> <p>La paille traitée sèche vaut environ 70 \$/t, la résine PMDI (diisocyanate de diphenylmethane) 2 600 \$/t et la paraffine (650 \$/t).</p> <p>Le coût d'énergie revient à 12 \$/m³ de panneaux.</p> <p>Les coûts d'entretien et de main-d'œuvre sont de 5,8 \$/m³ et 6,6 \$/m³ d'isolant.</p> <p>L'amortissement et les coûts d'immobilisation du capital sont de 31 \$/m³ d'isolant.</p> <p>Les coûts de production sont de 80 à 100 \$/m³.</p> <p>Transport des panneaux : Mêmes moyens de transport que pour les panneaux de particules de bois. La logistique de distribution existe déjà.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le prix de vente des panneaux de paille serait d'environ 150 \$/m³ d'isolant. - Les isolants en laine de verre ont un prix de 29 à 32 \$/m³ et ceux en fibres de roche coûtent entre 60 et 85 \$/m³.

Procédé-Bioproduct	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Chimie verte			
Biolubrifiant	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés qui existent à l'échelle commerciale. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de 450 M litres d'huile minérale isolante par Hydro-Québec, mais achat de 0,03 % d'huile minérale isolante neuve par année seulement. (Procédure de recyclage). - Aucune législation ne pousse les compagnies électriques à utiliser des huiles biodégradables. - La réglementation environnementale ne fait pas la différence entre les huiles minérales et végétales. - Hydro-Québec est sensibilisé à la problématique environnementale des huiles minérales et pourrait utiliser une quantité d'huile biodégradable. - Les marchés canadiens, européens, américains et asiatiques présentent de bonnes opportunités. 	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>
Biosolvant	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés qui existent à l'échelle commerciale. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - La réglementation visant la réduction des composés organiques volatiles (COV) est directement liée à la diminution de la consommation des solvants pétrochimiques. 	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les biosolvants sont actuellement 2 à 3 fois plus chers que les solvants pétrochimiques.

Procédé-Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Détergent et surfactant	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés qui existent à l'échelle commerciale. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variétés actuelles de canola canadien pas bien adaptées au marché des surfactants, mais possible d'obtenir la structure chimique souhaitée avec une transformation génétique appropriée. - Nette tendance vers les produits oléochimiques. - L'industrie cosmétique favorise les ingrédients actifs d'origine végétale. - Domaine extrêmement compétitif et comprend de nombreuses multinationales (molécules chimiques ou procédés protégés par des brevets). 	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>
Biocatalyseur	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés qui existent à l'échelle commerciale, surtout en Europe. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enzymes produites par des multinationales et non les agriculteurs ou les pisciculteurs, donc potentiel faible. 	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>	<i>Information non disponible ou confidentielle.</i>

Procédé-Bioproduit	État actuel et potentiel de développement	Investissements, coûts d'opération et coûts de transport	Rentabilité probable
Synthèse de l'acide azélaïque - Éléments précurseurs	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - La seule usine au monde fabriquant de l'acide azélaïque est installée à Cincinnati (États-Unis), mais le procédé est dangereux. - Le développement d'une nouvelle voie de synthèse de l'acide azélaïque est encore au stade du développement en laboratoire. Il faudra attendre encore environ 5 ans avant d'avoir un procédé viable économiquement. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un marché en croissance lente, mais soutenue, surtout pour la fabrication de lubrifiants à très hautes performances pour les moteurs d'avion. - Le nouveau procédé pourrait être implanté au Québec. Il ne requiert que des réactifs peu coûteux et des technologies simples à mettre en œuvre. 	<p><i>Information non disponible.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - À partir de l'acide oléique (2,39 \$/kg) on peut obtenir des quantités équimolaires d'acide azélaïque (13,16 \$/kg) et d'acide pélagonique (7,40 \$/kg). - Augmentation constante du coût de l'acide oléique (+20 % sur un an en septembre 2008), mais l'écart de prix entre celui-ci et l'acide azélaïque et pélagonique reste le même. - Les prix atteints par ces intermédiaires chimiques sont de puissants incitatifs économiques et industriels.
Distillation - Huiles essentielles	<p>État actuel de la technologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés qui existent à l'échelle commerciale. - Peu de contrôle de la qualité. - Ventes en vrac à des courtiers ou commercialisation en flacons directement par le web, par exemple. - La majorité de la production est transigée vers des usines de New York. <p>Potentiel de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dépend de l'importation des États-Unis. - Le propriétaire doit s'enregistrer auprès de l'Agence des douanes et du revenu du Canada afin d'obtenir un certificat d'alambic de chimiste. - Le produit doit respecter certaines normes canadiennes et internationales pour avoir la certification biologique. 	<p>Investissement : 100 000 \$ pour l'alambic seulement (Rogulski, s.d.)</p> <p>Coûts d'opération : Minime puisqu'il suffit de prendre en compte le coût d'alimentation en énergie et le prix de la main d'œuvre (1 à 2 personnes).</p> <p>Coût de l'exploitation des champs et de l'entretien du matériel agricole en plus.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peu de données disponibles quant à la taille optimale d'une usine.

Le Tableau 2 permet de comparer l'état actuel et potentiel de développement des différentes technologies qui composent les filières de bioproduits, ainsi que les aspects de rentabilité probable de ces technologies à l'échelle commerciale. Les filières pour lesquelles ces informations sont manquantes et non disponibles sont éliminées d'emblée. Dans le cadre du présent mandat, les procédés technologiques qui ont déjà démontré leur viabilité commerciale et ceux qui ont une perspective de commercialisation à court et à moyen terme (3 à 10 ans) sont favorisés. En fait, cet aspect constitue le premier critère de base pour la sélection des filières qui seront analysées en profondeur lors des étapes subséquentes de l'étude technico-économique.

Par ailleurs, la part importante du coût de la matière première (biomasse) dans l'ensemble des coûts de production pour la plupart des filières et l'impact que peut avoir ce coût sur la rentabilité probable d'une filière vient renforcer le choix de filières pouvant s'approvisionner de sources de biomasses à faible valeur commerciale (matières résiduelles d'origine végétale et animale, cultures à croissance rapide produites sur des terres marginales). Un potentiel de rentabilité immédiat ou dans un avenir proche constitue également un des critères de base pour la sélection des filières à analyser en profondeur lors des étapes subséquentes de l'étude technico-économique. Au-delà des aspects liés à la viabilité financière des filières, certains enjeux commerciaux, identifiés au tableau suivant, doivent aussi être considérés.

TABLEAU 3 – ENJEUX RELATIFS AUX PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE AGRICOLE

Bioénergie		
Fermentation - Bioéthanol	Approvisionnement	Nouveau débouché pour les producteurs agricoles; marché lucratif avec contrats garantis à partir de grains ou de cultures sucrées. Augmentation limitée des superficies en culture. Approvisionnement en maïs risque de devenir limitant avec l'accroissement de la production.
	Éléments techniques	Méthodes éprouvées depuis plusieurs années et ne posant pas de problèmes techniques particuliers. Dans le cas du millet perlé sucré et du sorgho sucré, l'extraction et la conservation de la sève sucrée posent encore des défis.
	Problématiques commerciales	Les prix élevés du maïs, provoqués par la forte demande, encouragent plusieurs producteurs vers cette production au détriment d'autres grains (blé, orge, avoine). Questionnement sur le côté éthique de détourner des denrées alimentaires vers la production énergétique.
	Aspects réglementaires	Divers règlements pourront être appliqués en fonction des équipements et du site retenu, du type d'émissions, de l'entreposage, de la distribution et de l'utilisation de l'éthanol.
	Subventions et pérennité des marchés	En 2008, le Canada a mis en place le programme écoÉNERGIE. À partir du 1 ^{er} avril 2008, et au cours des trois premières années, des taux incitatifs d'un maximum de 10 ¢/l pour les carburants renouvelables de remplacement à l'essence sont instaurés. Les taux maximums diminueront après trois ans pour atteindre 4 ¢/l pour le bioéthanol d'ici 2017 (Ressources naturelles Canada, 2009a). Le gouvernement fédéral élabore actuellement une réglementation visant à faire passer le pourcentage moyen de carburant renouvelable dans l'essence à 5 % d'ici l'automne 2010. En avril 2007, le gouvernement fédéral lançait le programme <i>Initiative pour un investissement écoagricole dans les biocarburants</i> qui vise à accorder une aide financière pour les producteurs agricoles souhaitant construire ou agrandir une installation de biocarburants.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Les avantages environnementaux de l'éthanol par rapport à l'essence sont remis en question par de nombreux chercheurs. Il en est de même en matière de réduction des GES.

Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique	Approvisionnement	Essentiel d'identifier les sources de biomasse disponibles, leur prix et les modalités permettant un approvisionnement stable et concurrentiel. Selon la stratégie énergétique du Québec, les ressources théoriques disponibles sont considérables. Il faudra trouver les moyens pour récolter, transporter et stocker ces matières à un prix concurrentiel. Le développement des cultures dédiées est difficile compte tenu de l'absence de marché.
	Éléments techniques	Technologies encore au stade de la recherche et développement ne devant pas atteindre le stade commercial avant 8 à 10 ans.
	Problématiques commerciales	La plupart des cultures énergétiques sont au stade d'évaluation et ne font pas partie des pratiques agricoles courantes. Il est essentiel que le secteur agricole québécois travaille à l'implantation et au développement de ces cultures pour pouvoir répondre à la demande lorsque les technologies seront prêtes. Il faudra également penser au développement de la filière de distribution.
	Aspects réglementaires	Divers règlements pourront être appliqués en fonction des équipements et du site retenu, du type d'émissions, de l'entreposage, de la distribution et de l'application faite de l'éthanol.
	Subventions et pérennité des marchés	Le programme écoÉNERGIE du gouvernement canadien a une enveloppe budgétaire de 500 millions de dollars pour le développement des technologies de seconde génération. Dans sa stratégie énergétique 2006-2015, le gouvernement du Québec favorise le développement de la filière de l'éthanol cellulosique.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Selon les résultats disponibles à ce jour, la production d'éthanol cellulosique aurait un impact environnemental négatif moindre sur la qualité des sols et des eaux souterraines et de surface que l'éthanol produit à partir de maïs. Par contre, le prélèvement massif de biomasses résiduelles végétales agricoles au champ et sur les parterres de coupes forestières aux fins d'approvisionnement d'usines pourrait compromettre l'intégrité des sols (appauvrissement des sols en matière organique, ruissellement, etc.). La réduction des émissions de GES suite à l'utilisation d'éthanol cellulosique (6 à 8 % pour un mélange E10) serait également supérieure à celle obtenue par l'utilisation d'éthanol maïs (3 à 4 % pour un mélange E10) (Ressources naturelles Canada, 2009b).

Transestérification - Biodiésel	Approvisionnement	Une demande accrue en provenance des marchés domestiques et d'exportation associée à une spéculation sur le prix des matières premières ont été un frein important au développement la filière.
	Éléments techniques	Les lacunes entourant la distribution à grande échelle de biodiésel (pour le stockage, le transport et le mélange) constituent le principal facteur limitant au développement de la filière. La capacité d'extraction limitée d'huile au Québec pourrait constituer un frein à la production de biodiésel.
	Problématiques commerciales	Lorsque le prix du diésel pétrochimique est inférieur à celui du biodiésel, la viabilité économique d'un plan de production n'est pas assurée.
	Aspects réglementaires	La mise en marché du biodiésel exige la certification des normes de qualité requérant de coûteuses analyses. La variabilité de la composition des matières premières recyclées complique le processus de certification.
	Subventions et pérennité des marchés	Le programme écoÉNERGIE comprend également une mesure incitative à la production de 20 ¢/l pour les carburants renouvelables de remplacement au pétrodiesel. La subvention maximale pour le biodiésel diminuera après trois ans et sera de 4 ¢/l en 2017. Le Canada élabore actuellement une réglementation visant à faire passer le pourcentage moyen de carburant renouvelable à 2 % dans le carburant diésel et le mazout d'ici 2011. Des réductions fiscales octroyées directement aux producteurs de biodiésel contribueraient à la viabilité de la filière.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	L'utilisation de biodiésel entraîne une réduction des GES produits lors de la combustion dans le moteur. Ainsi, 2 % de biodiésel ajouté au diésel conventionnel entraîne une réduction de 1 à 2 % des GES. Un mélange comprenant 20 % de biodiésel réduit les émissions de GES de 12 à 18 %. Lorsque le biodiésel est utilisé pur, une réduction de 64 à 92 % est atteinte.

Gazéification - Carburant renouvelable	Approvisionnement	L'assurance de l'approvisionnement constant en matières premières par des contrats à long terme est essentielle au bon fonctionnement de l'usine. L'essentiel de la matière première pourrait provenir des cultures lignocellulosiques cultivées sur des terres agricoles à proximité.
	Éléments techniques	Les unités de synthèse requièrent des gaz de synthèse séchés, purifiés et comprimés à haute pression. La présence de contaminants peut réduire l'activité des catalyseurs et affecter les compresseurs. La collecte des intrants présente des défis importants dont l'éloignement des lieux de récolte, le rapport volume/masse; l'humidité élevée, le pourrissement de la biomasse, etc.
	Problématiques commerciales	Comme les usines de gazéification sont de grande capacité, le développement d'un réseau de distribution des produits fabriqués (bioénergies, bioproduits et électricité) est incontournable. À moyen terme, les bioraffineries seront les plus grandes consommatrices de biogaz. Elles les transformeront en biocarburants et en bioproduits.
	Aspects réglementaires	Une demande de certificat d'autorisation doit être déposée auprès du ministère québécois du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) avant de procéder à la mise en place d'une unité de gazéification.
	Subventions et pérennité des marchés	La diversité des usages de la technologie de gazéification au Québec réduisent les risques au niveau des marchés. Présentement, la technologie de gazéification est subventionnée par les deux paliers gouvernementaux.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Les réactions qui se déroulent dans un procédé de gazéification sont théoriquement autothermiques. Si le procédé est bien contrôlé, une bonne partie de l'énergie contenue dans les gaz secondaires sera récupérée, sinon le bilan énergétique du procédé peut être controversé.

Densification - Biocombustible solide - Granules	Approvisionnement	La biomasse agricole issue de cultures dédiées est peu disponible actuellement. Son avantage réside dans le fait qu'on puisse s'assurer d'un approvisionnement fixe annuel. De 2 à 3 années sont nécessaires pour atteindre un rendement suffisant au démarrage.
	Éléments techniques	Le principal problème lié à l'utilisation de la biomasse agricole pour la combustion est que, contrairement au bois, elle génère un encrassement prématuré de la chaudière.
	Problématiques commerciales	La mise en marché des granules produits à partir de plantes énergétiques et de résidus agricoles reste à être développée. Les producteurs agricoles qui font le choix de se lancer dans ce type de production doivent assumer leur propre mise en marché et pour l'instant, ne peuvent pas compter sur des réseaux organisés ou sur des associations pour les supporter.
	Aspects réglementaires	La combustion de biomasse requiert un certificat d'autorisation du MDDEP comportant une caractérisation des émissions atmosphériques ainsi qu'une analyse de la biomasse. Les granules énergétiques sont soumises à des critères de qualité répondant aux différents marchés.
	Subventions et pérennité des marchés	Le Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec prévoit une somme de 24 millions de dollars sur six ans pour la réalisation de projets visant la valorisation énergétique de la biomasse agricole. La Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation du gouvernement du Québec a prévu une somme de 104 M\$ pour les secteurs de l'énergie et de l'environnement.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Les granules combustibles fabriqués à partir des plantes pérennes et des résidus agricoles représentent une source d'énergie renouvelable. De ce fait, le bilan énergétique est supérieur aux combustibles fossiles.
Carbonisation - Biocombustible solide – Biocharbon	Approvisionnement	La maturité des plantations est différente d'un champ à un autre et l'accès avec de la machinerie lourde est parfois problématique pour les agriculteurs. Ceci concerne surtout la récolte des plantations à croissance rapide.
	Éléments techniques	Il faut éviter de stocker le biocharbon en vrac dans un milieu humide, car il risque de prendre feu. Il faut bien contrôler la température dans le réacteur et la température du biocharbon à sa sortie. Les procédés qui donnent un rendement élevé en biocharbon sont encore au stade d'expérimentation. La teneur en cendres dans la matière première est une caractéristique à contrôler, car elle affecte la qualité.
	Problématiques commerciales	La vente et la distribution du biocharbon sont conditionnées par ses caractéristiques. Présentement, les compagnies produisant le biocharbon assurent la distribution. À court terme, le biocharbon pourrait être utilisé pour l'amendement des sols ou vendu aux métallurgistes. À moyen terme, les bioraffineries et les fabricants de charbon actif seront les plus grands acheteurs de ce produit.
	Aspects réglementaires	Plusieurs règlements s'appliquent en fonction de l'équipement et du site retenu, du type d'émissions générées, de l'entreposage, de la distribution et des usages faits du biocharbon.
	Subventions et pérennité des marchés	Le biocharbon n'a pas besoin d'être subventionné pour être commercialisé étant donné une grande demande pour ce produit ainsi que ses multiples usages.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	La carbonisation de la biomasse est un procédé qui respecte les normes environnementales, lorsque réalisée de façon appropriée. Les gaz seront récupérés et brûlés, les goudrons recueillis et valorisés et les cendres retournées aux sols agricoles comme engrais minéraux.

Pyrolyse - Biocombustible liquide – Biohuile	Approvisionnement	Il faut signer des contrats d'approvisionnement à long terme pour ne pas perturber le fonctionnement de l'usine, car les arrêts fréquents ne sont pas tolérés pour cette technologie.
	Éléments techniques	Les arrêts fréquents de l'unité de pyrolyse sont déconseillés par crainte de condensation des huiles pouvant conduire à l'obstruction des lignes de transfert ce qui causera un redémarrage plus difficile, plus lent et créera plus de pollution.
	Problématiques commerciales	Présentement, le réseau de distribution des biohuiles n'existe pas au Québec. S'il est question de mélanger cette biohuile avec le mazout lourd, il faut prévoir un réservoir calorifugé muni d'un agitateur.
	Aspects réglementaires	Plusieurs règlements s'appliquent en fonction de l'équipement et du site retenu, du type d'émissions générées, de l'entreposage, de la distribution et des usages faits des bioproduits. La biohuile est considérée comme une matière dangereuse et est donc soumise aux règlements concernant la gestion et le transport de ce type de matières.
	Subventions et pérennité des marchés	La demande mondiale croissante pour les bioénergies et les bioproduits assure la pérennité de la technologie de pyrolyse.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Une bonne gestion de ces produits et sous-produits permettra au procédé de récupérer toutes les calories contenues dans la biomasse. La pyrolyse est une technologie propre si toutes les précautions au niveau environnemental sont intégrées à la filière.
Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz	Approvisionnement	L'approvisionnement en effluents d'élevage ne devrait pas poser de problème car un certain nombre d'exploitations sont en surplus d'effluents à l'heure actuelle. Par ailleurs, il pourrait être envisagé qu'un méthaniseur industriel (de type municipal ou autre) puisse valoriser des effluents d'élevage comme intrants et ainsi décharger les producteurs agricoles de leur surplus d'effluents.
	Éléments techniques	À l'heure actuelle, au Québec, plusieurs technologies ont atteint un stade de maturité de commercialisation et de fonctionnement (Charest, 2008). Néanmoins, l'expertise technique des contractants de biodigesteurs ne semble pas encore très répandue, bien que la technologie et le procédé soient maîtrisés.
	Problématiques commerciales	Il existe un programme de mesurage net mis en place par Hydro-Québec qui vise à ce que le producteur d'électricité consomme ce qu'il produit. Il n'est pas possible de vendre de l'électricité produite à partir d'un processus de biométhanisation à la ferme au réseau d'Hydro-Québec (Brodeur et al., 2008a).
	Aspects réglementaires	Divers règlements pourront être appliqués en fonction de l'origine des matières premières et de l'utilisation du biogaz et du digestat. D'autres réglementations seront applicables à la production du biogaz.
	Subventions et pérennité des marchés	Quelques programmes de subventions permettent d'obtenir des aides financières : •Le programme Prime-Vert, volet « technologie de gestion des surplus ». •Des mesures fiscales telles que le crédit d'impôt pour l'acquisition d'installations de traitement du lisier de porcs.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Tant du point de vue des GES que du bilan énergétique, la biométhanisation à la ferme constitue l'une des formes d'énergie renouvelable présentant le meilleur bilan. Les impacts environnementaux du procédé de biométhanisation à la ferme sont, de manière générale, positifs.

Matériaux d'origine renouvelable		
Biofibre	Approvisionnement	Des contrats à long terme doivent être signés afin de rentabiliser le procédé qui doit fonctionner pendant 330 jours à raison de 24 heures par jour.
	Éléments techniques	Les panneaux de paille doivent résister au feu et aux rongeurs. Ils doivent être utilisés dans des endroits secs. L'éloignement des lieux de récolte par rapport à l'unité de fabrication; le rapport volume/masse, l'humidité élevée, la contamination du sol par les minéraux et le pourrissement de la biomasse constituent des contraintes spécifiques pour la collecte des intrants.
	Problématiques commerciales	L'absence de demande actuelle pour des isolants à base de paille rend difficile l'investissement dans une ligne de production au Québec. Le coût de production de ce type d'isolant est très élevé par rapport aux isolants de laine de verre et de roche qui sont présentement importés par le Québec.
	Aspects réglementaires	Plusieurs règlements s'appliquent en fonction de l'équipement et du site retenu, du type d'émissions générées, de l'entreposage et de la distribution des panneaux.
	Subventions et pérennité des marchés	Actuellement, la filière est non rentable sans subvention; des mesures incitatives pourraient encourager les constructeurs à choisir des matériaux écologiques pour la construction de bâtiments verts.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Le site de production doit être situé loin des habitations pour éviter d'incommoder les résidents avec les odeurs et les risques de poussière. Généralement, les technologies de fabrication de bioproduits sont compatibles avec l'environnement, la santé et l'avenir des territoires ruraux.

Chimie verte ³		
Distillation - Huiles essentielles	Approvisionnement	Il est important de préciser que la distillation d'une plante ne se fait qu'à un moment précis, il convient donc de prévoir ses approvisionnements en conséquence. Il est judicieux de distiller plusieurs plantes pour rentabiliser l'investissement.
	Éléments techniques	Les procédés de distillation sont largement documentés.
	Problématiques commerciales	La majorité des producteurs fabriquent des huiles essentielles brutes souvent avec peu de contrôle de la qualité. Les producteurs québécois dépendent du marché américain. Les ventes en vrac se font en majorité auprès des intermédiaires (courtiers, distributeur).
	Aspects réglementaires	Pour l'exploitation d'une unité de distillation, on doit procéder à un enregistrement auprès de l'Agence des douanes et du revenu du Canada et consentir à se soumettre aux règles d'utilisation de l'alambic.
	Subventions et pérennité des marchés	Il est difficile de dire si le marché est suffisamment rémunérateur puisque les informations quant à l'utilisation et l'exportation des huiles essentielles ne sont pas assez détaillées. Concernant la production d'huiles essentielles à partir de biomasse agricole, il est difficile d'évaluer le potentiel d'extraction et de définir son utilisation, car il y a très peu d'études faites à ce jour.
	Bilan énergétique et impacts environnementaux	Il n'y a pas de données sur les bilans énergétiques disponibles.

Les informations contenues dans le Tableau 3 permettent de mettre en perspective les enjeux commerciaux et environnementaux liés aux différentes filières considérées. Ces enjeux peuvent donc jouer un rôle dans le choix final des filières à étudier lors des étapes subséquentes de l'analyse technico-économique, mais ne constituent pas un facteur déterminant dans le processus de sélection.

³ Il n'y a pas d'information disponible pour documenter les sous-filières des biolubrifiants, des biosolvants, des détergents et des surfactants, des biocatalyseurs et des éléments précurseurs. Pour cette raison, celles-ci ne sont pas incluses dans le tableau.

TABLEAU 4 – VALEUR AJOUTÉE DES BIOPRODUITS ET FILIÈRES CONCURRENTES ET COMPLÉMENTAIRES

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Filières concurrentes et complémentaires
Bioénergie		
Fermentation - Bioéthanol	L'éthanol a une valeur ajoutée faible. Puisqu'il existe déjà une usine d'éthanol à base de maïs-grain au Québec, il est peu probable que plusieurs autres usines de ce genre se développent considérant les orientations gouvernementales en défaveur de la production d'éthanol à partir de maïs-grain. Par contre, une diversification des sources d'approvisionnement pour inclure d'autres types de biomasse riches en sucre qui sont cultivables sur des terres marginales (ex : millet perlé sucré) pourrait avoir un impact positif sur la valeur ajoutée de ce bioproduit. En effet, le développement d'usines de ce genre étendrait les retombées économiques de cette filière en termes d'emplois et de volumes produits aux régions périphériques et à un plus grand nombre d'acteurs du monde agricole.	La canne à sucre est utilisée massivement au Brésil pour la production d'éthanol à faible coût. Les autres matières premières actuellement utilisées pour produire l'éthanol de première génération, dont le maïs, sont majoritairement destinées à l'alimentation animale et humaine.
Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique	L'éthanol a une valeur ajoutée faible. Par rapport à cette filière, l'investissement requis limite le nombre d'usines qui pourront être construites sur le territoire québécois et l'impact économique potentiel en termes d'emplois. En termes de volumes de biomasse transformés, une optimisation des étapes de transport et de prétraitement de la biomasse permettra d'étendre l'impact de cette filière à plusieurs régions. Par ailleurs, lorsque les étapes d'hydrolyse et de fermentation seront optimisées, permettant une extraction et une fermentation maximale des sucres, les volumes de biomasse requis pourraient être en décroissance.	La paille et le foin peuvent aussi être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, des panneaux de haute densité, la fabrication d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), la méthanisation, la fabrication de litière, l'alimentation du bétail, l'industrie de la chimie verte, etc. Les différentes technologies de production d'éthanol cellulosique actuellement en développement se livrent également une lutte féroce pour conquérir le marché. Cette technologie est aussi en compétition avec d'autres technologies de production telles que la gazéification, la pyrolyse, le moteur à hydrogène ou électrique, la carbonisation, etc.

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Filières concurrentes et complémentaires
Transestérification - Biodiésel	Le biodiésel utilisé en tant que carburant n'est pas un produit à très haute valeur ajoutée. Les usines de biodiésel de première génération ne requièrent pas un nombre important d'employés. Aussi, les huiles végétales ont généralement un prix élevé, ce qui limite leur utilisation pour la production de biodiésel alors que le potentiel d'utilisation des huiles alimentaires usées et des gras animaux est limité.	<p>La compétition entre les deux filières de production (huiles végétales versus huiles usées végétales et animales) se situe au niveau du coût de la matière première et du coût du procédé. Les huiles ou graisses recyclées se transigent à des coûts relativement bas, mais leur quantité demeure limitée et les procédés sont plus complexes.</p> <p>Le Canada est un gros producteur de canola et le premier pays exportateur au monde. Une bonne proportion se destine à des applications dans le domaine alimentaire entre autres.</p> <p>Le soya est aussi utilisé dans plusieurs secteurs d'activités, dont l'industrie alimentaire.</p>
Gazéification - Carburant renouvelable	Ce procédé peut donner lieu à la production de plus d'un bioproduit (ex : éthanol et méthanol), ce qui améliore la valeur ajoutée. De plus, la gazéification peut être en aval de plusieurs autres procédés de transformation (pyrolyse, carbonisation, transestérification, méthanisation et fermentation), ce qui engendre davantage de valeur ajoutée à la matière première d'origine. La diversité de sources d'approvisionnement pourrait également engendrer d'importantes retombées économiques dans toutes les régions du Québec.	<p>La paille et le foin peuvent être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, de panneaux de haute densité, d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), pour la méthanisation, pour la fabrication de litière, pour nourrir le bétail et également pour la production de carburants renouvelables.</p> <p>Étant donné que la paille et le foin, ainsi que les plantes à croissance rapide, n'entrent pas en compétition avec l'industrie alimentaire, la compétitivité sera basée non pas seulement sur la matière première, mais également sur les produits finis.</p> <p>Les filières qui sont en compétition avec la gazéification pour l'approvisionnement en résidus agricoles sont nombreuses : la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la méthanisation et la fermentation, ainsi que les autres filières de bioproduits (fabrication de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.).</p> <p><i>Complémentarité</i> : Peut aussi utiliser comme matière première : le biocharbon, les résidus solides des procédés de fermentation et de méthanisation, ainsi que les litières usées pour produire des gaz de synthèse.</p>
Densification - Biocombustible solide - Granules	La valeur ajoutée de ce bioproduit peut être qualifiée comme étant moyenne. L'investissement requis et le degré de transformation de la biomasse par le procédé est relativement faible, ce qui rend possible l'édification de plusieurs petites unités de transformation dans plusieurs régions. De plus, les volumes potentiels et la diversité de sources d'approvisionnement possibles fait en sorte que cette filière puisse engendrer d'importantes retombées économiques dans toutes les régions du Québec.	Les filières concurrentes aux agrogranules sont les granules à base de biomasse forestière et les autres systèmes de chauffage qui utilisent différentes ressources énergétiques telles que le charbon minéral, l'énergie nucléaire, l'électricité, le gaz naturel, etc.

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Filières concurrentes et complémentaires
Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon	Considérant le coût de la matière première, ainsi que la valeur du produit fini, ce procédé ne semble pas apporter beaucoup de valeur ajoutée à la biomasse. Par contre, l'approvisionnement à partir de sources de biomasse agricole et forestière pourrait engendrer des retombées économiques en région.	Les filières qui sont en compétition avec la carbonisation pour les résidus agricoles sont nombreuses : la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la méthanisation et la fermentation, ainsi que les autres filières de bioproduits (fabrication de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.). <i>Complémentarité</i> : Le biocharbon est aussi un intrant pour la gazéification. La carbonisation peut aussi utiliser, comme matière première, les résidus solides des procédés de fermentation et de méthanisation ainsi que les litières usées pour produire du biocharbon.
Pyrolyse - Biocombustible liquide - Biohuile	L'approvisionnement à partir de sources de biomasse agricole et forestière pourrait engendrer des retombées économiques en région et ainsi une plus grande valeur ajoutée au produit.	Les filières qui sont en compétition avec la pyrolyse pour les résidus agricoles sont nombreuses : la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la méthanisation et la fermentation, ainsi que les autres filières de bioproduits (fabrication de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.). <i>Complémentarité</i> : Les biohuiles sont aussi des intrants pour la gazéification. La pyrolyse peut aussi utiliser, comme matière première, les résidus solides des procédés de fermentation et de méthanisation ainsi que les litières usées pour produire des biohuiles.
Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz	L'utilisation de matières premières qui seraient normalement destinées à l'enfouissement témoigne de la haute valeur ajoutée apportée par cette filière. L'investissement requis et le degré de transformation de la biomasse par le procédé est relativement faible, ce qui rend possible l'édification de plusieurs petites unités de transformation dans plusieurs régions du Québec. Cette filière pourrait donc engendrer des retombées économiques importantes.	Du point de vue des intrants potentiels (effluents d'élevage, déchets divers), aucune valorisation des déchets n'est vraiment effectuée à l'heure actuelle. Du point de vue énergétique, la biométhanisation n'est pas compétitive avec les autres sources d'énergie. En effet, la production d'électricité à partir de la biométhanisation n'est pas rentable, car le coût de production de la biométhanisation est plus élevé que le prix offert par Hydro-Québec. D'autre part, le prix des énergies fossiles ne peut être concurrencé par le prix de revient du biogaz qui lui, est plus élevé. Toutefois, le prix des énergies fossiles pourrait augmenter rapidement. De cette façon, un certain nombre de projets pourraient être rentables.

Procédé-Bioproduit	Valeur ajoutée	Filières concurrentes et complémentaires
Matériaux d'origine renouvelable		
Biofibre	Le niveau de transformation nécessaire et la diversité des sources de biomasse pouvant approvisionner cette filière contribuent à la haute valeur ajoutée de celle-ci. De plus, les volumes de paille et de foin disponibles laissent présager d'importantes retombées économiques dans plusieurs régions du Québec.	<p>La paille et le foin peuvent aussi être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, des panneaux de haute densité, pour la fabrication d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), pour la méthanisation, pour la fabrication de litière, pour nourrir le bétail, etc.</p> <p>Étant donné que la paille, le foin ainsi que les plantes à croissance rapide n'entrent pas en compétition avec l'industrie alimentaire, la compétitivité sera basée non pas uniquement sur la matière première, mais aussi sur les produits finis.</p> <p>Les filières qui sont en compétition avec la fabrication de panneaux pour les résidus agricoles sont nombreuses : la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la méthanisation et la fermentation, ainsi que les autres filières de bioproduits (fabrication de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.).</p> <p><i>Complémentarité</i> : Les panneaux de paille sont des produits écologiques recyclables. À la fin de leur cycle de vie, on peut les utiliser comme matière première pour la fabrication de bioénergies et autres bioproduits.</p>
Chimie verte		
Chimie verte - Biolubrifiant	Les huiles isolantes pour les transformateurs électriques sont des produits ayant une valeur ajoutée pouvant être qualifiée de moyenne. Les volumes de production et le degré de transformation nécessaire expliquent ce niveau de valeur ajoutée.	<p>Ces huiles peuvent être extraites de plantes oléagineuses telles que le soya ou le canola. Les huiles à base pétrochimique peuvent être utilisées également pour produire des huiles pour les transformateurs électriques. Elles constituent la principale filière concurrente des huiles d'origine végétale.</p> <p>La compétition est grande entre les huiles d'origine végétale et les huiles d'origine pétrochimique.</p>
Chimie verte - Biosolvant	Puisque les biosolvants utilisés dans le secteur des huiles et mouillants phytosanitaires (substances dont la présence améliore l'étalement du pesticide sur la surface traitée) n'ont un prix que de 10 à 30 % supérieur aux huiles végétales, ils s'inscrivent dans un marché à faible valeur ajoutée.	<i>Information non disponible.</i>
Chimie verte - Détergent et surfactant	<i>Information non disponible.</i>	<i>Information non disponible.</i>

Procédé- Bioproduit	Valeur ajoutée	Filières concurrentes et complémentaires
Chimie verte - Biocatalyseur	<i>Information non disponible.</i>	<i>Information non disponible.</i>
Synthèse de l'acide azélaïque - Éléments précurseurs	L'acide azélaïque est un produit à très haute valeur ajoutée, essentiellement parce qu'il peut être écoulé sur des marchés très lucratifs. Il est possible de produire cet acide à partir des huiles végétales et des huiles alimentaires usées. Il existe au Québec des ressources agricoles suffisantes pour approvisionner cette filière. Toutefois, le marché des huiles végétales à des fins alimentaires pourrait s'avérer plus intéressant.	La principale filière concurrente est la voie privilégiant la réaction d'ozonolyse. Il sera important que l'acide azélaïque développé représente une amélioration significative en termes de sécurité tout en étant compétitif au niveau du coût de la synthèse proprement dite. Les cultures oléagineuses produites au Québec, ajoutées à l'offre d'huiles alimentaires usées, pourraient approvisionner cette filière.
Distillation - Huiles essentielles	Les huiles essentielles sont un produit de niche. En fonction d'une disponibilité de biomasse agricole peu élevée, cette opportunité reste marginale et artisanale. L'opportunité réside dans les huiles essentielles issues de la matière ligneuse. Les plantes aromatiques sont intéressantes et peuvent mener sur le long terme à une entreprise rentable. La valeur ajoutée de ce bioproduit par unité est donc élevée, mais le potentiel à l'échelle provinciale demeure réduit.	Le marché des huiles essentielles naturelles doit faire face à un concurrent direct : le marché des huiles essentielles synthétiques.

Les éléments du Tableau 4 permettent de mettre en perspective les procédés par rapport à la valeur supplémentaire apportée à la biomasse pendant le processus de transformation. La valeur ajoutée d'une filière est liée au degré de transformation de la biomasse qui en résulte et à l'impact qu'elle peut avoir sur l'économie du Québec en termes d'emplois et de retombées économiques. Bien que non déterminant, ce critère est considéré comme important dans le choix des filières à analyser à l'étape suivante. Le Tableau 4 permet, par ailleurs, de constater que certaines filières risquent d'être en compétition pour l'approvisionnement en biomasse

4. IDENTIFICATION DES TYPES DE CULTURES ET DE BIOMASSES RÉSIDUELLES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES

Cette troisième étape vise à identifier les types de cultures et de biomasses résiduelles agricoles et alimentaires susceptibles d'être techniquement utilisés au Québec dans un court et moyen terme pour la fabrication de bioproduits. Ainsi, cette section identifie et compare les différentes sources de biomasse qui pourront servir d'intrants aux filières bioénergétiques des biocarburants et biocombustibles ainsi qu'aux filières des matériaux d'origine renouvelable et des bioproduits de la chimie verte qui ont été identifiées aux étapes A et B.

D'emblée, ces sources de biomasse sont celles qui présentent un potentiel pour le secteur agroalimentaire québécois et sont donc divisées en quatre grandes catégories couvrant l'ensemble du secteur, soit :

- Cultures amylacées et sucrées;
- Biomasses lignocellulosiques;
- Cultures oléagineuses;
- Matières organiques résiduelles végétales et animales.

Les sources de biomasse ayant un potentiel pour la fabrication de bioproduits au Québec sont nombreuses. Plusieurs contraintes empêchent les acteurs du milieu agroalimentaire et industriel québécois de les exploiter tel que : le manque d'expertise agronomique et économique, le manque d'infrastructure dans le réseau de transport, d'entreposage et de transformation des produits et le manque de développement des technologies de conversion. À cette étape, l'évaluation des différentes sources potentielles de biomasse présente un portrait de toutes les possibilités d'implantation et d'utilisation selon les conditions et les ressources du Québec. Ainsi, l'annexe 2 présente chacune des sources potentielles à l'aide de tableaux, tandis que le contenu de cette section compare et évalue les différents éléments qui caractérisent ces mêmes sources de biomasse.

4.1 Caractéristiques recherchées

Selon Smith (2007), la compréhension actuelle du génome des cultures végétales et les possibilités de manipulation génétique évoluent rapidement et mèneront vraisemblablement à des cultures plus efficaces au niveau de la photosynthèse, de l'utilisation des éléments nutritifs et de l'eau ainsi qu'avec un contenu plus élevé en composés désirables. À court terme, les cultures existantes seront utilisées pour approvisionner les différentes filières de bioproduits et des gains d'efficacité s'effectueront au niveau des améliorations des technologies de transformation. Choisir et développer de nouvelles espèces en fonction des caractéristiques que souhaitent les transformateurs/raffineurs semble plus approprié.⁴ Ainsi, à moyen et long termes, les cultures génétiquement modifiées de manière à présenter des contenus élevés en composés d'intérêt permettront des gains d'efficacité supplémentaires. En ce sens, toute culture actuelle a un potentiel pour les filières de bioproduits.

Pour ce qui est des filières énergétiques, les cultures qui actuellement détiennent un contenu minime en hémicellulose, lignine, protéine et autres composés non valorisables par les filières de l'éthanol et du biodiésel (ex. : terpènes, acides gras, composés aromatiques, etc.) seront d'emblée favorisées. Par contre, les autres filières de bioproduits nécessiteront fort probablement des sources de biomasse avec des composantes et des concentrations différentes.

⁴ Pierre Turcotte, chercheur du CÉROM, communication personnelle.

La présente étude met l'emphase sur le développement des filières de bioproduits à court et moyen terme. Ainsi, les sources de biomasses identifiées comme pouvant potentiellement servir d'intrants à ces filières sont celles desservant actuellement les filières alimentaires ainsi que quelques sources émergentes (cultures dédiées). Le Tableau 5 présente les différentes cultures à l'étude.

TABLEAU 5 – SOURCES DE BIOMASSE

Cultures amylacées	Cultures sucrières
Avoine	Chicorée
Blé	Millet perlé sucré et sorgho sucré
Maïs	Topinambour
Orge	Cultures lignocellulosiques
Pomme de terre	Plantes fourragères
Triticale	Panic érigé
Cultures oléagineuses	Saule à croissance rapide
Soya	Peupliers hybrides
Canola/Colza	Chanvre industriel
Tournesol	Miscanthus giganteus
Lin	Alpiste roseau
Camelina sativa	Matières organiques résiduelles animales
Matières organiques résiduelles végétales	Déjections
Pailles de céréales	
Fibre de maïs	
Résidus forestiers	
Résidus du secteur de la transformation agroalimentaire	
Foins déclassés non commercialisés	

4.2 Rendements

Les rendements des différentes sources de biomasse pouvant approvisionner les filières de bioproduits au Québec doivent être comparés dans le but d'identifier celles présentant une plus grande efficacité lors de la production. Ces rendements peuvent être comparés sur différentes bases. Le Tableau 6 aide à comparer les rendements des différentes sources de biomasses susceptibles d'être techniquement utilisées pour la fabrication de bioproduits à court et moyen terme. Cette comparaison est établie non seulement en termes de rendement de denrées brutes à l'hectare, rapportés par l'Institut de la statistique du Québec pour l'année 2008, mais également en termes de rendement énergétique. Le rendement énergétique des cultures est évalué à l'aide de plusieurs hypothèses extraites de la littérature scientifique. Ces hypothèses et les calculs utilisés sont expliqués en détail dans les fiches de chacune des cultures à l'Annexe 2. Ainsi, le potentiel de certaines sources de biomasse peut être considéré comme théorique, tandis que le potentiel des autres sources est réellement accessible, tout dépendant du stade auquel se trouve le développement des technologies de conversion.

TABLEAU 6 – RENDEMENTS DES DIFFÉRENTES SOURCES DE BIOMASSE

Biomasse	Rendements tonnes/ha*	Intensité énergétique moyenne GJ/ha**
Cultures amylicées		
Avoine	2,18	± 48*
Blé	2,82	± 29*
Maïs (maïs-grain seulement)	8,25	± 94*
Orge	2,65	± 21*
Pomme de terre	29,4	± 63,82*
Triticale	n.d.	± 29 (blé)*
Cultures sucrières		
Chicorée	55 à 70	± 40 à 168**
Millet perlé sucré et sorgho sucré	± 80 (humide)	± 100,33**
Topinambour	40 à 50	7,6 à 27,9**
Cultures lignocellulosiques		
Plantes fourragères Foins (déclassés/non commercialisés)	5,63	± 17**
Panic érigé	8 à 13	± 196**
Saule à croissance rapide	10 à 25	± 346,5**
Peupliers hybrides	12 à 20 m ³ /ha	18 GJ/tonne ou 900 GJ/ha**
Chanvre industriel	Graine : 0,5 à 1,5 t/ha Fibre : 5 à 10 t/ha	48 à 96**
<i>Miscanthus giganteus</i>	10 à 25	± 320,77**
Cultures oléagineuses		
Soya	2,62	± 19*
Canola/Colza	1,89	± 35*
Tournesol	2,5	± 26*
Lin	1,26	± 15*
<i>Camelina sativa</i>	0,75 à 2,51	± 34,48*
Matières organiques résiduelles végétales		
Pailles de céréales	0,32 à 0,55	± 4,37**
Fibre de maïs	4,125	± 39,5**
Résidus forestiers	Variable	16 à 19,1 GJ/t**
Résidus du secteur de la transformation agroalimentaire	n.d.	n.d.

Matières organiques résiduelles animales		
	Total Québec (tonnes)	GJ****
Déjections***	16 744 232	± 7 413 835 *

* Potentiel réellement accessible calculé en fonction des technologies déjà éprouvées et commercialisées.

** Potentiel théorique maximum établi par la littérature.

*** Basé sur les données du recensement de l'agriculture de 2006, effectué par Statistique Canada.

**** Calculé à partir de ratio des m³ de biogaz par tonne de fumier et l'utilisation du méthane pour la production d'énergie. Ceci constitue donc un potentiel théorique maximum. À noter qu'une fois digérées par le processus de méthanisation, les déjections animales peuvent tout de même être utilisées comme source fertilisante sous forme de digestat.

En analysant plus en détail les données présentées dans le Tableau 6, on constate que certaines sources de biomasse présentent un rendement plus intéressant que d'autres. Toutefois, plusieurs variables influencent ces résultats. D'une part, les rendements à l'hectare sont basés sur des rendements moyens à travers la province et ne représentent donc pas le potentiel d'une région en particulier. D'autre part, le contenu énergétique des différentes sources varie en fonction des technologies de conversion supposées. Les sources de biomasse qui contiennent un contenu en hydrates de carbone (sucres) pour la production d'énergie à l'aide de procédés déjà développés et implantés (ex : éthanol de 1^{re} génération) tendent à démontrer un contenu énergétique plus faible que les sources de biomasse destinées à des procédés en développement (ex : éthanol cellulosique). De plus, certaines sources de biomasse présentent un certain potentiel pour des procédés autres que ceux cherchant à produire de l'énergie. Ainsi, le Tableau 7 synthétise les autres composés d'intérêt contenus dans les différentes sources de biomasse à l'étude.

TABLEAU 7 – AUTRES COMPOSÉS D'INTÉRÊT

Cultures amylicées	
Avoine	Manganèse, vitamines et fibres solubles
Blé	Gluten et protéines
Mais (mais-grain seulement)	Gluten, fibres et huile
Orge	Vitamine E, fibres solubles, composés phénoliques, phosphore, magnésium, fer, cuivre, zinc, sélénium et autres sels minéraux
Pomme de terre	Protéines, minéraux et vitamine C
Triticale	Acides aminés
Cultures sucrières	
Chicorée	Protéines, lipides, glucides, fibres alimentaires et sodium
Millet perlé sucré et sorgho sucré	Fibres et protéines
Topinambour	Fructo-oligosaccharides
Cultures lignocellulosiques	
Plantes fourragères	Fibres
Panic érigé	Fibres
Saule à croissance rapide	Hémicellulose
Peupliers hybrides	Fibres pour pâtes à papier et composites
Chanvre industriel	Huile à haute valeur ajoutée
<i>Miscanthus giganteus</i>	Fibres
Cultures oléagineuses	
Soya	Protéines, phosphore, magnésium, fer, zinc, vitamines
Canola/Colza	Vitamines
Tournesol	Vitamines, phosphore, manganèse, cuivre
Lin	Oméga-3, paille pour fibres
<i>Camelina sativa</i>	Oméga-3
Matières organiques résiduelles végétales	
Pailles de céréales	Fibres
Fibre de maïs	Fibres
Résidus forestiers	Fibres
Résidus du secteur de la transformation agroalimentaire	Fibres
Matières organiques résiduelles animales	
Déjections	Éléments fertilisants

En somme, les procédés de transformation qui présentent un potentiel de développement intéressant pour le Québec se doivent de valoriser de manière efficace les caractéristiques physico-chimiques des cultures et des sources de biomasse identifiées à cette étape de la démarche.

4.3 Coûts de production

Bien que la section précédente identifie les sources de biomasse qui présentent un potentiel intéressant sur le plan productif pour les filières de bioproduits, il est important de considérer l'approvisionnement de ces filières d'un point de vue économique. Si les filières de bioproduits ne sont pas en mesure d'offrir aux producteurs agricoles du Québec un prix pour la biomasse qui permet de rentabiliser sa production et sa commercialisation, l'approvisionnement s'avérera difficile, voire impossible. Ainsi, l'approvisionnement en biomasse pour les filières de bioproduits dépendra de leur capacité à payer. De la même manière, le potentiel global des procédés de transformation doit être évalué en tenant compte de la viabilité financière des filières. Cela dit, il est difficile d'évaluer à ce stade si la capacité de payer de chacune des filières de bioproduits sera suffisante pour pouvoir s'approvisionner en différentes biomasses agricoles. Toutefois, ce type d'analyse sera effectué pour chacune des filières retenues à la phase 2 du présent mandat.

Le Tableau 8 cherche à comparer les différentes sources de biomasse en termes de coûts et de bénéfices pour les entreprises agricoles et agroalimentaires qui pourraient potentiellement approvisionner les filières de bioproduits au Québec, représentant le premier maillon de la chaîne d'approvisionnement.

TABLEAU 8 – COMPARAISON DES PRIX ET MARGES BÉNÉFICIAIRES

	Prix \$/tonne ou autre*	Prix \$/hectare**	Charges \$/hectare**	Marge bénéficiaire sans aide gouvernementale \$/hectare**	Marge bénéficiaire avec aide gouvernementale \$/hectare***
Cultures amylicées					
<i>Avoine</i>	157,25 \$	548,70 \$	485,96 \$	62,74 \$	278,38 \$
<i>Blé (fourrager)</i>	184,33 \$	617,75 \$	633,36 \$	(15,61) \$	255,22 \$
<i>Mais-grain</i>	160,68 \$	1 295,87 \$	1 183,31 \$	112,56 \$	300,67 \$
<i>Orge</i>	166,08 \$	580,42 \$	579,76 \$	0,65 \$	205,74 \$
<i>Pomme de terre</i>	263,68 \$ (en 2005)	4 636,13 \$	4 250,10 \$	386,03 \$	921,81 \$
<i>Triticale</i>	Similaire au blé				
Cultures sucrières					
<i>Chicorée</i>	15 000 \$	n.d.	n.d.	n.d.	-
<i>Millet perlé et sorgho sucré</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
<i>Topinambour</i>	n.d.	n.d.	n.d.	Environ 125 \$/tonne	-
Cultures lignocellulosiques					
<i>Plantes fourragères</i>	130 \$	859,44 \$	587,22 \$	272,23 \$	-
<i>Panic érigé</i>	n.d. mais doit se comparer au foin	60 à 90 \$	73 à 90 \$	Négatif à nul selon la littérature	-
<i>Saule à croissance rapide</i>	100 \$	n.d.	26 à 40 \$/t	60 à 74 \$/tonne	-
<i>Peupliers hybrides</i>	n.d.	n.d.	Coût total d'aménagement = 6 000 \$/ha	n.d.	-
<i>Chanvre industriel</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
<i>Miscanthus giganteus</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
Cultures oléagineuses					
<i>Soya</i>	335,60 \$	1 009,71 \$	650,46	359,25 \$	416,22 \$
<i>Canola/Colza</i>	283,33 \$	623,33 \$	536,55 \$	86,79 \$	367,65 \$
<i>Tournesol</i>	400 \$ (MAPAQ 2006)	939,20 \$	242,14 \$	296,88 \$	-
<i>Lin</i>	n.d.	588 \$/t	283,38 \$/t	304,62 \$/t	-
Matières organiques résiduelles végétales					
<i>Pailles de céréale</i>	± 100 \$	Inclus dans la production de céréales			-
<i>Fibre de maïs</i>	n.d.	Inclus dans la production de céréales			-

	Prix \$/tonne ou autre*	Prix \$/hectare**	Charges \$/hectare**	Marge bénéficiaire sans aide gouvernementale \$/hectare**	Marge bénéficiaire avec aide gouvernementale \$/hectare***
<i>Résidus forestiers</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
Matières organiques résiduelles animales					
<i>Déjections</i>	n.d.	Inclus dans les coûts de production des fermes d'élevage			

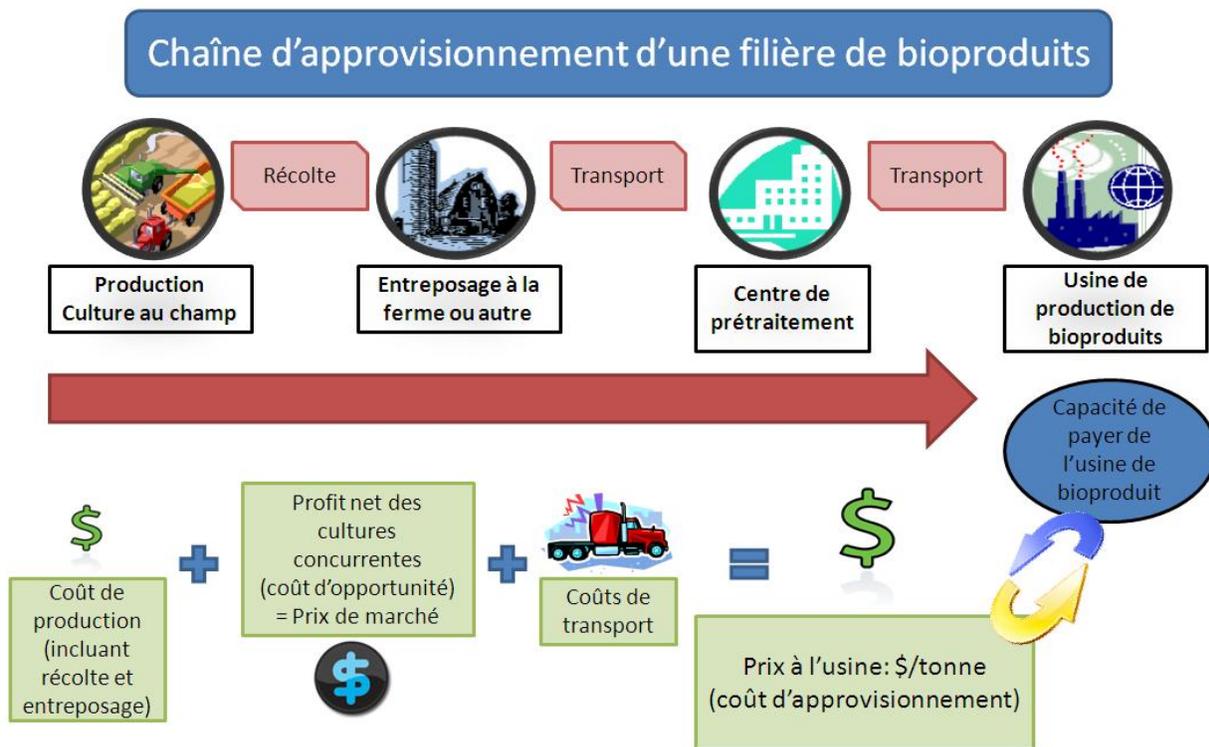
* Prix moyen en \$/tonne métrique entre 2003-2004 et 2007-2008 (FPCCQ, 2009)

** Moyenne sur 3 ans (2005, 2006 et 2007) – budgets du MAPAQ sans contributions ni compensations aux programmes gouvernementaux (ASRA et autres)

*** Moyenne sur 3 ans (2005, 2006 et 2007) – budgets du MAPAQ avec compensations des programmes gouvernementaux (ASRA et autres)

Les informations présentées au tableau ci-dessus ne permettent pas de faire une analyse complète de la rentabilité économique de chacune des cultures. Entre autres choses, il existe très peu d'information sur la profitabilité des cultures dédiées (ex : panic érigé, alpestré roseau, saule à croissance rapide, peupliers hybrides, chanvre industriel, *Miscanthus giganteus*) pour le Québec. Par conséquent, l'analyse économique de l'approvisionnement des filières prévue pour la phase 2 de cette étude sera fondée premièrement sur la capacité des filières à payer un prix permettant de produire la biomasse de façon rentable.

FIGURE 2 – APPROVISIONNEMENT D'UNE FILIÈRE DE BIOPRODUIT



Dans le cas des cultures dédiées (panic érigé, etc.) et des autres cultures actuellement produites en zones cultivées, le coût d'approvisionnement devrait être égal au coût de production de ces cultures, plus le profit net par hectare des cultures concurrentes cultivées dans ces zones.

Dans le cas des biomasses (cultures conventionnelles ou dédiées) produites dans des zones non cultivées actuellement (terres en friche), les coûts d'approvisionnement seront égaux au montant le plus élevé entre le coût de production par hectare et le prix offert par les acheteurs actuels.

Cette section a permis d'identifier les sources de biomasse, cultures et résiduelles, pouvant approvisionner différentes filières de bioproduits au Québec. La prochaine section examine la production totale de biomasse au Québec et analyse la répartition géographique de la production. Ceci permettra de composer les filières qui présentent un potentiel de développement intéressant pour le Québec, en associant les procédés les plus prometteurs aux sources de biomasses les plus adéquates en termes de caractéristiques physico-chimiques et de potentiel de production.

5. POTENTIEL AGRONOMIQUE ANTICIPÉ

Cette section évalue globalement le potentiel agronomique anticipé de production des cultures identifiées précédemment. Cette analyse est effectuée à l'aide de l'ensemble des informations présentées à l'Annexe 2 sur l'utilisation actuelle des terres agricoles au Québec. De manière comparative, le potentiel de chacune des différentes sources de biomasse est évalué en termes de volume total de production. Par la suite, une analyse régionale est présentée dans le but d'évaluer le potentiel de chacune des sources de biomasse en fonction des caractéristiques agricoles des différentes régions du Québec.

5.1 Volumes de production

Les superficies cultivées et rendements annuels moyens des principales productions végétales du Québec ont légèrement augmenté depuis le début des années 90 (Tableau 9). Ainsi, en considérant les superficies actuellement en culture, il est peu probable que la production de biomasse sur ces superficies connaîtra un vaste essor à court et à moyen terme. Toutefois, il se peut qu'il y ait des déplacements des approvisionnements des filières alimentaires (alimentation humaine et animale) vers les filières non alimentaires (bioproduits). Également, les approvisionnements de la biomasse agricole ne seront pas nécessairement liés aux superficies actuelles, mais plutôt liés aux prix que les filières de bioproduits seront prêtes à payer (voir section précédente).

TABLEAU 9 – SUPERFICIES DES CULTURES DÉJÀ ÉTABLIES AU QUÉBEC

Culture	Changements annuels moyens entre 1992 et 2008 (%)		
	Superficies récoltées (ha)	Rendements (t/ha)	Production (tonnes)
Avoine	+2	0	+3
Blé	+3	0	+3
Céréales mélangées	-1	0	-1
Foin cultivé	0	+2	+2
Mais fourrager	+4	+2	+5
Mais-grain	+2	+3	+6
Orge	-2	0	-2
Soya	+15	0	+16

Source des données : Institut de la statistique du Québec et Statistique Canada, 2007. *Tableau M.1.1 : Superficie des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative, Québec.*
http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/index.htm

La production de cultures spécialisées dans des zones non cultivées (terres en friche), ou encore en zones riveraines où la production de cultures annuelles est interdite, pourrait contribuer à une augmentation de la production de biomasse destinée à ces filières. De plus, l'utilisation des matières organiques résiduelles végétales et animales est une avenue qui présente un potentiel certain pour la production de biogaz. Compte tenu de tous ces éléments, le Tableau 10 réitère les volumes actuels de production des différentes sources potentielles de biomasse et présente différents volumes potentiels pour la production de bioproduits. En effet, en considérant la réorganisation des filières pour qu'un certain volume de la production (5 %, 15 % et 25 %) puisse être destiné à des fins autres qu'alimentaires, le Tableau 10 illustre l'impact d'une évolution graduelle de ce nouvel approvisionnement.

TABLEAU 10 – VOLUMES DE PRODUCTION DE BIOMASSE AU QUÉBEC

	Production actuelle ±	Potentiel d'approvisionnement (tonnes)		
		5 %	15 %	25 %
Cultures amylicées				
<i>Avoine*</i>	233 909 t	11 695	35 086	58 477
<i>Blé*</i>	133 709 t	6 685	20 056	33 427
<i>Mais*</i>	3 099 091 t	154 955	464 864	774 773
<i>Orge*</i>	385 955 t	19 298	57 893	96 489
<i>Pomme de terre*</i>	502 727 t	25 136	75 409	125 682
<i>Triticale+</i>	910 t	956	1 047	1 138
Cultures sucrières				
<i>Betterave à sucre+</i>	0 t	-	-	-
<i>Chicorée+</i>	0 t	-	-	-
<i>Millet perlé et sorgho sucré+</i>	0 t	-	-	-
<i>Topinambour+</i>	n.d.	-	-	-
Cultures lignocellulosiques				
<i>Plantes fourragères*</i>	4 066 364 t	203 318	609 955	1 016 591
<i>Panic érigé+</i>	1 793 t	1 883	2 062	2 241
<i>Saule à croissance rapide+</i>	1 698 t.a. (rendements moyens)	1 783	1 953	2 123
<i>Peupliers hybrides+</i>		n.d.		
<i>Chanvre industriel+</i>	Potentiel de 35 000 t de fibre	36 750	40 250	43 750
<i>Miscanthus giganteus+</i>		n.d.		
Cultures oléagineuses				
<i>Soya*</i>	442 000 t	22 100	66 300	110 500
<i>Canola/Colza+</i>	33 000 t (pour 2008)	34 650	37 950	41 250
<i>Tournesol+</i>	500 t	525	575	625
<i>Lin*</i>		n.d.		
<i>Camelina sativa+</i>		n.d.		
Matières organiques résiduelles végétales				
<i>Pailles de céréale**</i>	110 620 t	5 531	16 593	27 655
<i>Fibre de maïs**</i>	192 978 t	9 649	28 947	48 245
<i>Résidus forestiers*</i>	± 568 787 t	28 439	85 318	142 197

Déjection résiduelles animales			
Production actuelle : 16 744 232 tonnes de fumier	5 %	15 %	25 %
Potentiel d'approvisionnement en pétajoules (PJ)	0,4	1,1	1,9
Potentiel d'approvisionnement en tonnes	837 212	2 511 635	4 186 058

± : Moyenne de la production au Québec entre 1998 et 2008

* : Potentiel calculé en termes de 5 %, 15 % et 25 % de la production actuelle destinée aux filières de bioproduits

+ : Potentiel calculé en termes d'une augmentation de 5 %, 15 % et 25 % de la production actuelle ou autre hypothèse pour les filières de bioproduits

° : Quantité calculée en fonction d'indices de récolte (publiés par le CRAAQ) qui tient compte des amendements minimums.

Bien que plusieurs hypothèses puissent être considérées dans l'évaluation du véritable potentiel d'approvisionnement pour les filières de bioproduits au Québec, le Tableau 10 dresse un portrait d'ensemble qui permet de tirer certains constats. Le potentiel de la biomasse qui provient de cultures déjà établies semble légèrement moins intéressant que celui des résidus d'origine animale et forestière et des cultures qui sont présentement marginales. De plus, d'autres avantages, par exemple, la possibilité de les cultiver sur des terres en friche, favorisent d'autres sources de biomasse (cultures dédiées) en termes de potentiel.

Selon les données recueillies par Vouligny et Gariépy (2008), plus de 100 000 ha de terres agricoles sont abandonnées à l'échelle du Québec. Les régions où les friches sont les plus étendues sont le Bas-du-Fleuve (45 000 ha), la Montérégie Est et Ouest (23 500 ha) et l'Estrie (17 600 ha). Par ailleurs, peu de données sont disponibles pour l'Outaouais et l'Abitibi-Témiscamingue où les superficies pourraient être importantes. Selon les déclarations des producteurs de la fiche d'enregistrement agricole du MAPAQ, il y aurait 31 787 hectares de friche au Québec, n'incluant pas les pâturages naturels qui sont de l'ordre de 60 000 hectares. La répartition régionale de ces superficies est détaillée à la section suivante. En considérant les rendements des différentes sources de biomasse (cultures conventionnelles ou dédiées) pouvant être cultivées sur ces superficies, la remise en culture de ces surfaces pourrait significativement ajouter au potentiel global d'approvisionnement. Par contre, des raisons économiques sont certainement à l'origine de l'abandon de ces terres : manque de potentiel pour l'agriculture conventionnelle, désintéressement et spéculation (Vouligny et Gariépy, 2008). Le fait que la remise en valeur de ces friches générerait des bénéfices économiques, grâce à l'approvisionnement des filières de bioproduits, reste à être démontré.

Selon le Ministère de l'Environnement du Canada (2003), une bande riveraine moyenne de 3 m de large le long des cours d'eau en zone cultivée couvre, pour le Québec, environ 9 000 hectares. Par contre, selon des expériences sur le terrain, une bande riveraine de 3 m semblerait insuffisante pour permettre des opérations culturales efficaces avec de la machinerie agricole. Ainsi, certains croient que dans la réalité, une bande riveraine moyenne de 10 m de large serait plus appropriée. Il semble peu probable qu'un grand nombre de producteurs soit prêt à concéder de telles surfaces. Lorsque cette surface est mise en culture pour la production de biomasse pour les filières de bioproduits, le potentiel global de production augmente. Par contre, la récolte sur ces superficies s'avère difficile (pentes, milieux humides, vase, etc.), ce qui fait croire qu'en réalité, pas plus de 30 % à 40 % de ces sources de biomasse pourrait être récolté.

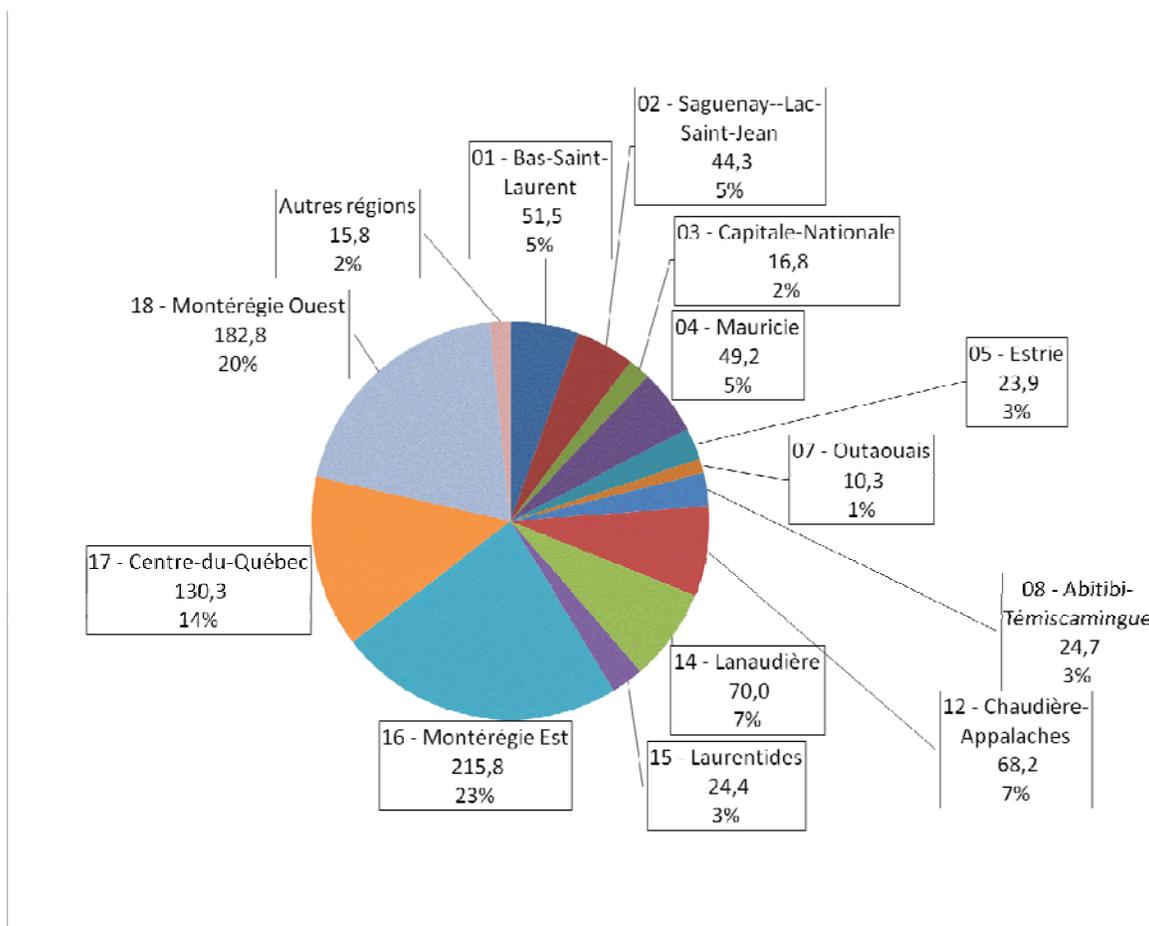
La tendance générale quant aux quantités de biomasses requises pour approvisionner une usine de bioproduits de manière à ce qu'elle opère à pleine capacité et soit viable sur le plan financier établit qu'il serait difficile pour une seule et unique source de biomasse agricole d'approvisionner une filière. Ainsi, les filières capables de valoriser un plus grand nombre de sources de biomasse devraient être favorisées. De la même manière, des hypothèses devront être établies en termes de l'approvisionnement qui proviendra de chacune des sources à l'intérieur d'une même filière.

5.2 Analyse régionale

Les différentes cultures étudiées peuvent être divisées en deux catégories. D'une part, les cultures annuelles déjà cultivées de manière intensive (céréales, oléagineux, légumineuses et autres grains) ainsi que les cultures émergentes devant être cultivées dans des conditions similaires (millet perlé sucré, sorgho sucré, tournesol, lin, camelina) et d'autre part, les cultures pérennes et ligneuses cultivées dans des conditions agronomiques moins flexibles et sur des terres plus marginales (plantes fourragères, panic érigé, saules, etc.). Ainsi, cette dichotomie des cultures permet d'évaluer le potentiel des différentes régions du Québec pour l'approvisionnement de la biomasse végétale.

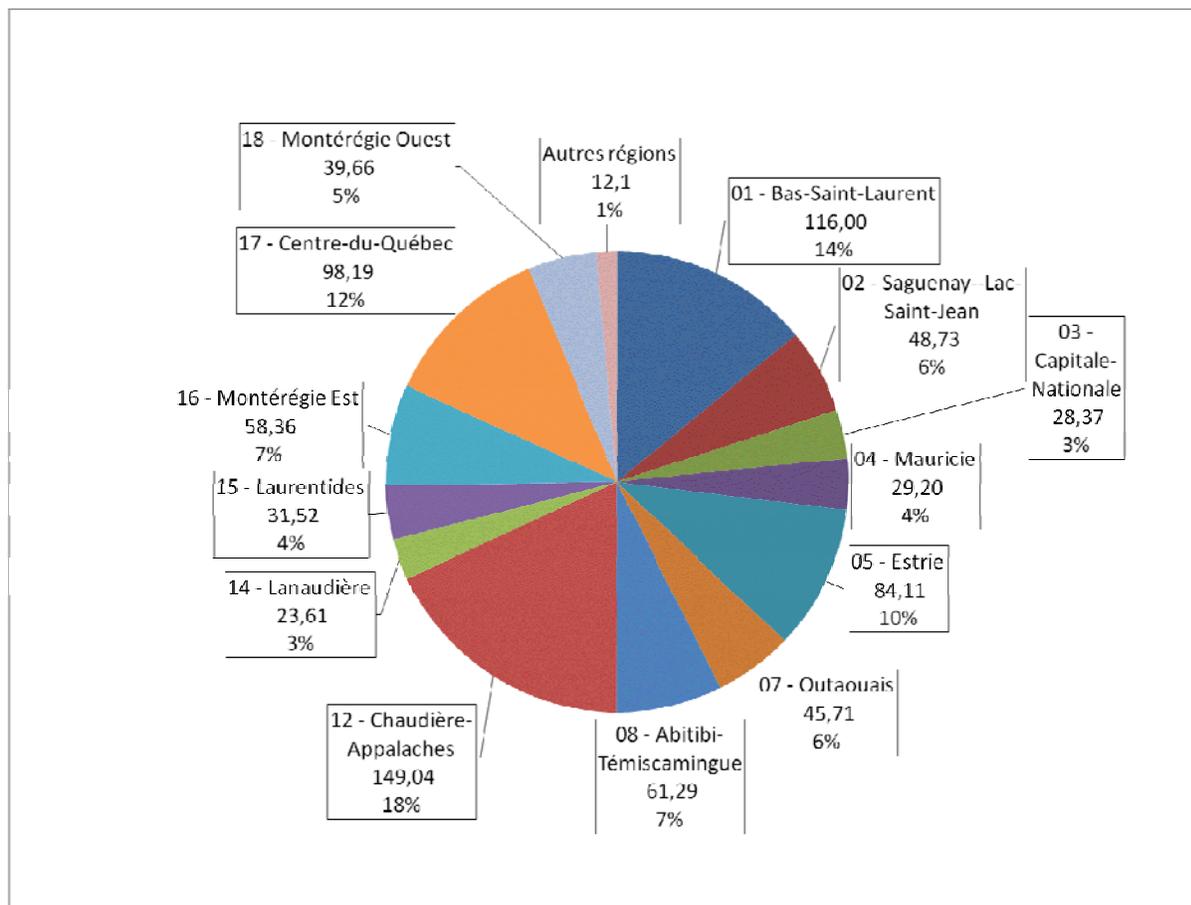
Les Figures 3 à 9 illustrent quelles régions seront les plus aptes à adopter l'une ou l'autre des catégories de cultures définies ci-dessus. Dans ces figures, les superficies occupées par les différentes catégories de cultures sont présentées en termes de leur répartition dans les régions administratives du Québec (données de 2007). Cette analyse permet de mieux cerner comment pourrait s'organiser l'approvisionnement efficace des différentes sources de biomasse. De ce fait, en plus des caractéristiques liées à la production, les filières de bioproduits qui seront analysées dans les prochaines étapes de cette étude seront définies en tenant compte des réalités régionales.

FIGURE 3 – CÉRÉALES, OLÉAGINEUX, LÉGUMINEUSES ET AUTRES GRAINS : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)



Le total des superficies en céréales, oléagineux, légumineuses et autres grains atteint 917 651 hectares au Québec. Ces superficies occupent 27,12 % du total des superficies, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007 (3 383 574 hectares). Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

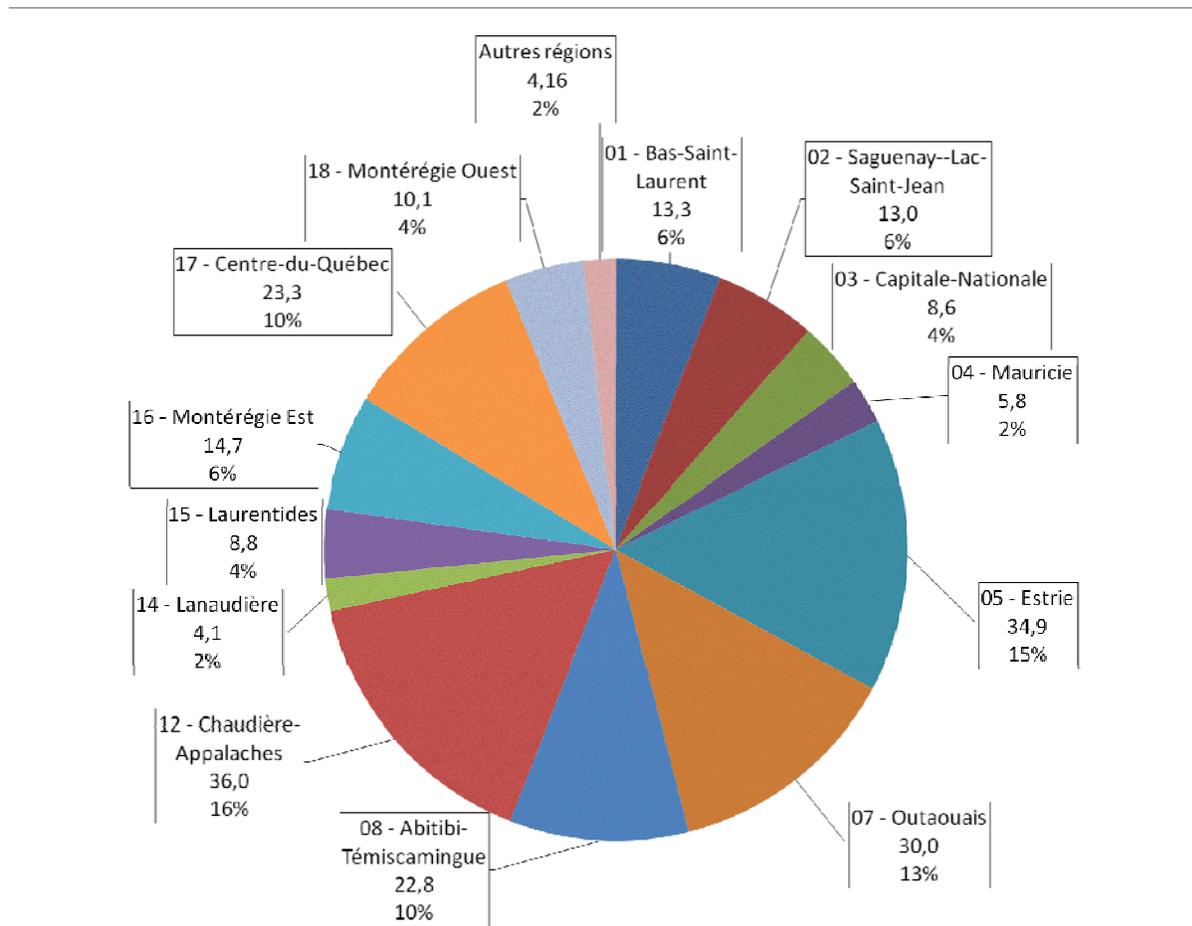
FIGURE 4 – FOURRAGES RÉCOLTÉS : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D'HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)



Le total des superficies en fourrages récoltés atteint 825 913 hectares au Québec. Ces superficies occupent 24,41 % du total des superficies, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007 (3 383 574 hectares).

Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

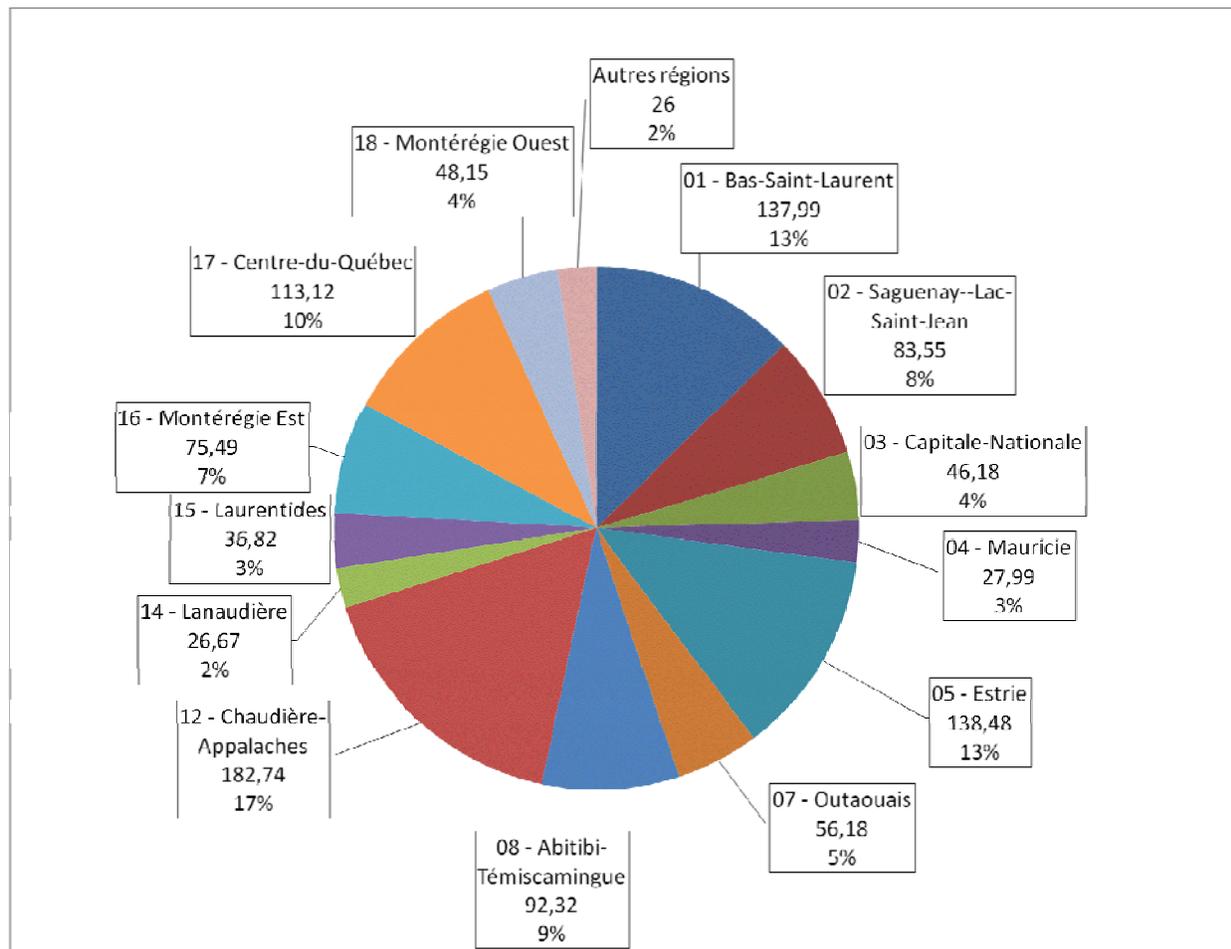
FIGURE 5 – PÂTURAGES ET FOURRAGES NON RÉCOLTÉS : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D’HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)



Le total des superficies en pâturages et fourrages non récoltés atteint 229 660 hectares au Québec. Ces superficies occupent 6,19 % du total des superficies, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007 (3 383 574 hectares).

Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

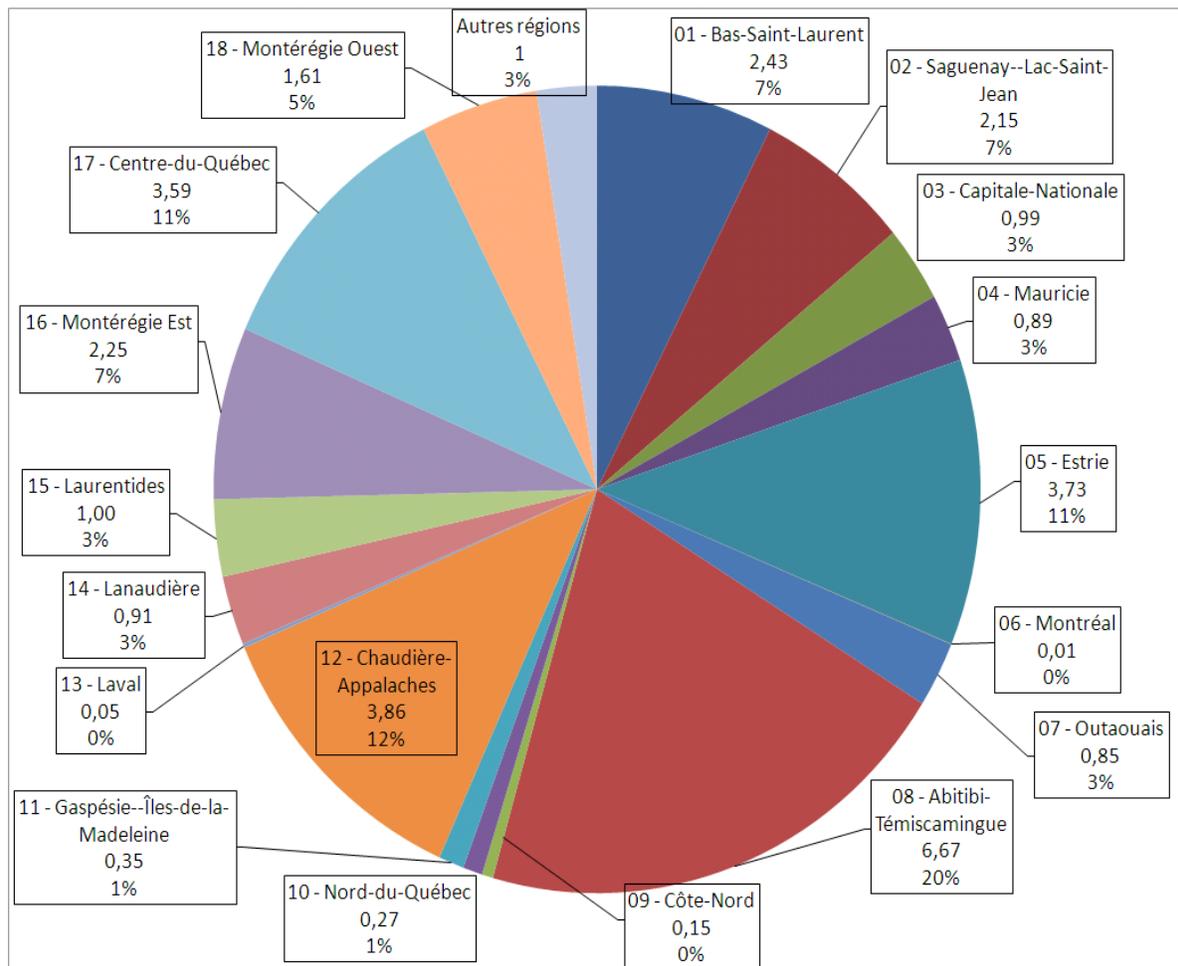
FIGURE 6 – SUPERFICIES NON CULTIVÉES : TOTAL EN MILLIERS D’HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)



Le total des superficies non cultivées atteint 1 091 764 hectares au Québec. Ces superficies occupent 32,27 % du total des superficies, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007 (3 383 574 hectares).
Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

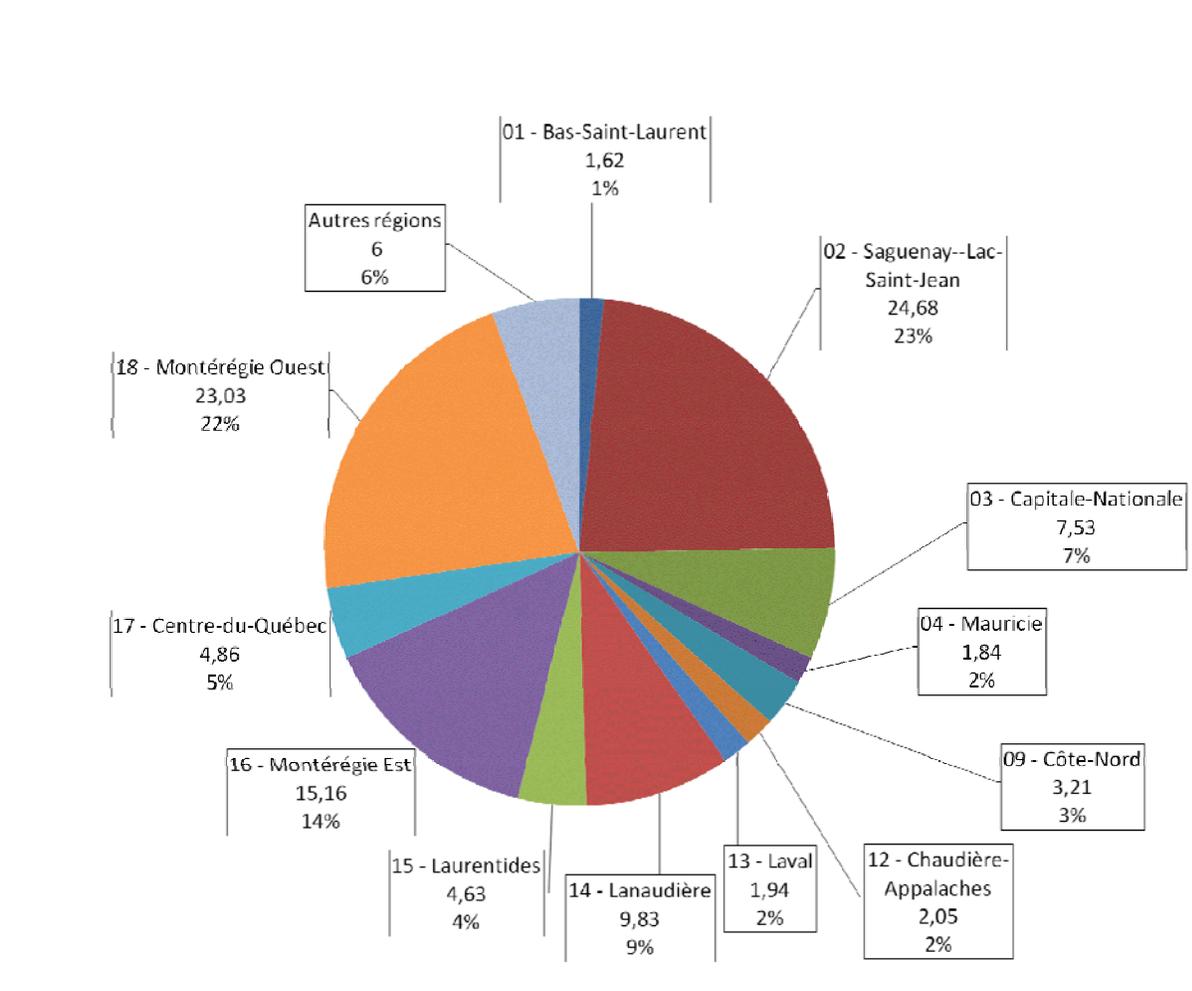
Les superficies non-cultivées représentées à la Figure 6 incluent les terres en friche, les boisés et plantations forestières, ainsi que d'autres superficies telles que les cours, les espaces dédiés aux bâtiments de ferme, étangs, etc. La Figure 7 met en perspective les terres en friche de manière isolée, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007.

FIGURE 7 – SUPERFICIES EN FRICHE EN MILLIERS D’HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)



Le total des superficies en friche atteint 31 747 hectares au Québec. Ces superficies occupent moins de 1 % du total des superficies, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007 (3 383 574 hectares).
 Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

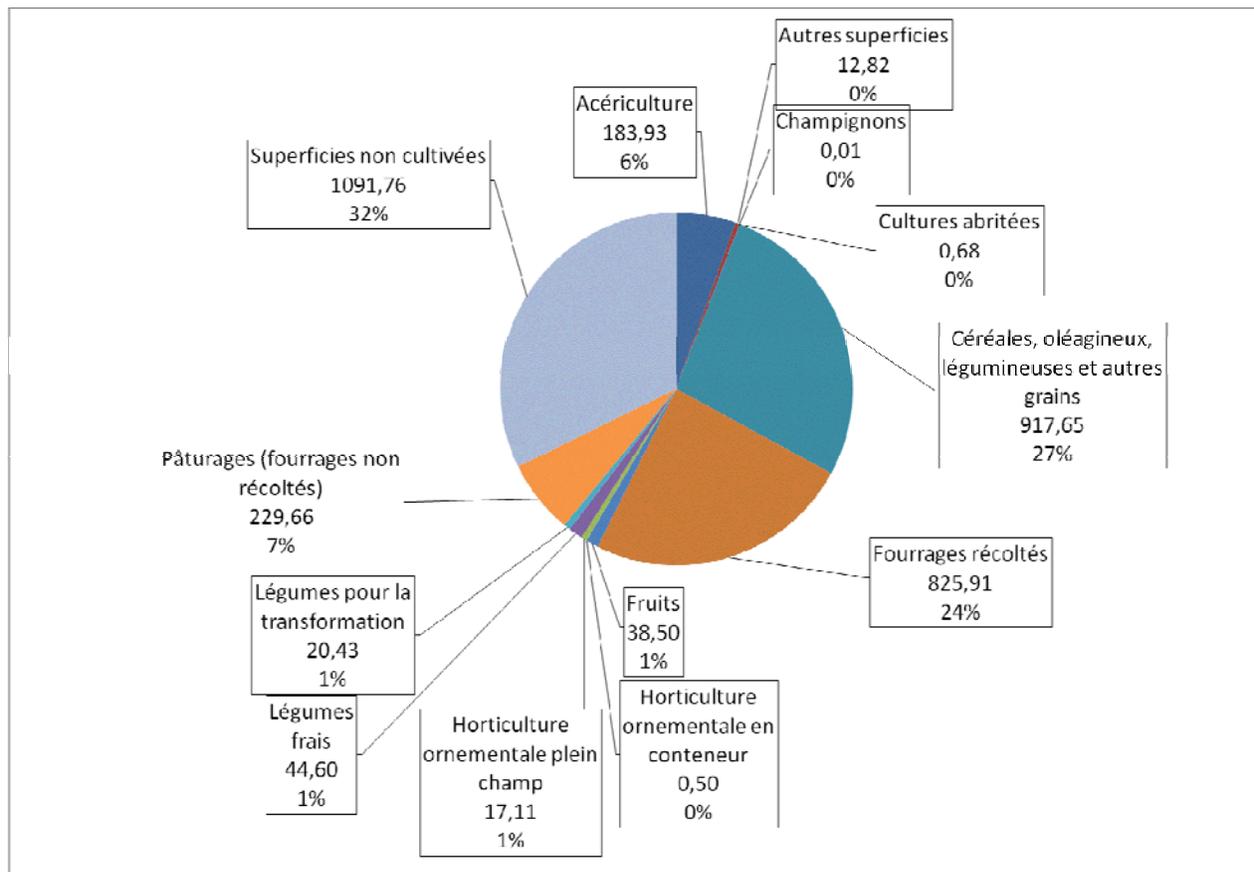
FIGURE 8 – FRUITS, LÉGUMES FRAIS ET LÉGUMES DE TRANSFORMATION : SUPERFICIES TOTALES EN MILLIERS D’HECTARES ET RÉPARTITION RÉGIONALE (2007)



Le total des superficies en fruits, légumes frais et légumes de transformation atteint 103 525 hectares au Québec. Ces superficies occupent 3,06 % du total des superficies, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007 (3 383 574 hectares).
Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

Ainsi, les superficies du Québec sont occupées par diverses productions. La Figure 9 met en relation l'ensemble de ces productions et les superficies qu'elles occupent.

FIGURE 9 – SUPERFICIES ET PRODUCTIONS TOTALES, EN MILLIERS D'HECTARES (2007)



Le total des superficies au Québec est estimé à 3 383 574 hectares, telles que rapportées par les fiches d'enregistrement des exploitations agricoles en 2007.

Source : MAPAQ, Fiches d'enregistrement des exploitations agricoles, 2007.

Le portrait des terres agricoles du Québec que peint la figure ci-dessus démontre que la production de certaines cultures à croissance rapide sur des terres en friche ou des jachères présente un certain potentiel pour l'approvisionnement des filières de bioproduits. De plus, les superficies en céréales, oléagineux et autres grains, ainsi que celles en fourrages (plus de 50 % des superficies en 2007), représentent également un potentiel non-négligeable, lorsque l'on considère la production de résidus de culture qu'elles occasionnent. Ainsi, les filières basées sur des technologies qui valorisent ces sources de biomasse devraient être favorisées pour les étapes subséquentes de l'analyse technico-économique. De prime abord, ces étapes subséquentes chercheront à déterminer le prix et les modalités requises pour permettre un approvisionnement stable et concurrentiel de ces matières en considérant les quantités réellement disponibles. Considérant les informations dont nous disposons, il apparaît préférable de limiter l'analyse aux sources suivantes : fourrages (millet perlé sucré), résidus de cultures agricoles et résidus forestiers, panic érigé, saule à croissance rapide et effluents d'élevage (fumiers et lisiers).

6. SÉLECTION DES FILIÈRES BIOINDUSTRIELLES LES PLUS PROMETTEUSES

Il est pertinent de rappeler qu'un certain nombre de procédés existent pour la transformation d'intrants agricoles en bioproduits industriels. Plusieurs filières ont été documentées dans les différentes fiches techniques présentées à l'Annexe 1.

6.1 Critères de sélection

À la lumière des informations rassemblées, un processus de sélection a été effectué pour identifier les filières les plus prometteuses et pour lesquelles une analyse économique plus approfondie sera effectuée dans une seconde phase. Dans un premier temps, une analyse multicritère qualitative a été réalisée à cette fin. Une grille de critères de sélection a été déterminée afin de prendre en compte l'ensemble des informations rassemblées sur les procédés de transformation et les intrants agricoles pouvant les alimenter. Ces critères n'ont pas tous la même importance dans l'identification des filières prometteuses : certains sont discriminants, alors que d'autres sont des critères limitants importants, mais non discriminants et d'autres sont plutôt accessoires. Les critères de sélection et leur importance relative sont présentés dans le Tableau 11.

Les critères discriminants correspondent aux deux critères suivants :

- Les procédés sont techniquement applicables au Québec, actuellement ou dans un avenir à court et à moyen terme (3 à 10 ans).
- Les procédés utilisent une ou plusieurs sources de biomasse agricole qui est présente au Québec.

L'évaluation des filières sur la base de ces critères est présentée au Tableau 12. L'analyse permet de préciser dans quelle mesure les procédés satisfont ou non à chacun des deux critères, et par conséquent, facilite la comparaison des filières entre elles.

Les critères limitants sont des critères importants, mais non discriminants. La réglementation par exemple, peut être un facteur limitant au développement d'une filière, mais non un frein définitif car celle-ci peut être modifiée par les gouvernements. Les critères accessoires sont des critères qui peuvent contribuer à éliminer certaines filières, mais pour des raisons secondaires telles que la disponibilité des données. L'évaluation des filières sur la base de ces critères est présentée au Tableau 13.

TABLEAU 11 – LISTE DES CRITÈRES POUR LA SÉLECTION DES FILIÈRES LES PLUS PROMETTEUSES

Critère	Description	Évaluation
Facteurs discriminants		
Maturité technologique	Le procédé doit être disponible à l'échelle commerciale actuellement ou dans un avenir proche (3-10 ans). Les procédés qui ne seront disponibles commercialement que dans plus de 10 ans ne sont pas retenus.	Échelle commerciale actuelle ou à court terme : 0-10 ans/Oui Échelle commerciale long terme : plus de 10 ans/Non
Disponibilité et variabilité de la biomasse	Le procédé doit pouvoir utiliser une ou plusieurs sources de biomasse agricole disponible au Québec.	Oui Non
Facteurs limitants		
Valeur ajoutée	Le procédé doit produire un ou plusieurs bioproduits à forte valeur ajoutée. Idéalement, le procédé devrait impliquer un haut degré de transformation d'un grand volume de biomasse québécoise.	Élevée Moyenne Faible
Potentiel de développement	Les filières dont le potentiel de développement à plus long terme est important sont privilégiées.	Très élevé Élevé Peu élevé Moyen
Potentiel de rentabilité	Les filières dont le potentiel de rentabilité est élevé sont considérées comme étant plus prometteuses.	Incertain Faible Moyen Élevé
Réglementation	La réglementation en place peut contribuer à limiter ou favoriser le développement d'une filière.	Favorisante Ne s'applique pas Contraignante
Marchés locaux	Les filières pour lesquelles les bioproduits et les coproduits sont utilisés par des marchés locaux sont considérées comme étant plus prometteuses.	Existant Peu développé Inexistant
Bilan environnemental	La réduction des émissions de GES constitue un facteur important à considérer pour appuyer le développement d'une filière. Dans certains cas, à défaut d'avoir un potentiel de rentabilité élevé, le fait de contribuer à l'amélioration du bilan environnemental peut constituer une raison suffisante pour appuyer une filière. Un bilan environnemental positif contribue également à favoriser l'acceptabilité sociale (développement durable).	Bon Faible Nul
Facteur accessoire		
Disponibilité des données	Il est important qu'il existe suffisamment de données pour documenter les filières, et par conséquent, en effectuer une analyse adéquate.	Très bonne Bonne Moyenne Faible
Brevet	Le développement de certaines filières peut être limité par le fait que certaines multinationales possèdent des brevets sur la fabrication de certains bioproduits. L'évaluation du critère consiste à indiquer si la filière peut être limitée par l'existence de brevets (oui) ou non.	Oui Non

TABLEAU 12 – ÉVALUATION DES FILIÈRES DE PRODUCTION DES BIOPRODUITS – CRITÈRES DISCRIMINANTS

Procédé - Bioproduit	Maturité technologique	Disponibilité de la biomasse
Bioénergie		
Fermentation - Bioéthanol	Échelle commerciale : actuelle	Oui. Sources de biomasse cultivées avec une grande quantité d'intrants sur des terres qui servent présentement à la production alimentaire et qui ont un coût élevé. Cependant, une diversification de l'approvisionnement pour inclure des sources de biomasse riches en sucre qui sont cultivables sur des terres marginales (ex. : millet perlé sucré) pourrait améliorer la valeur ajoutée de ce bioproduit, étalant les retombées économiques de cette filière aux régions périphériques et à un plus grand nombre d'acteurs du monde agricole.
Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique	Échelle commerciale : 8 à 10 ans	Oui. Valorise une panoplie de biomasses. Basé sur les informations disponibles, il serait préférable de limiter l'analyse aux sources suivantes: fourrages, résidus forestiers, panic érigé, alpiste roseau, saule à croissance rapide et paille de maïs et de blé. Par contre, d'autres filières seront en compétition pour les mêmes intrants.
Transestérification - Biodiésel	Échelle commerciale : actuelle	Non. Intrants agricoles qui détiennent un contenu énergétique faible et qui présentent une plus grande valeur ajoutée lorsque valorisés par les filières alimentaires.
Gazéification - Carburant renouvelable	Échelle commerciale : 5 à 10 ans	Oui. Valorise une panoplie de biomasses et peut également valoriser les résidus d'élevage (fumiers). Toutefois, d'autres sources non agricoles (ex. : déchets municipaux) peuvent être plus concurrentielles pour l'approvisionnement.
Densification - Biocombustible solide - Granules	Échelle commerciale : actuelle	Oui. Valorise une panoplie de biomasses. Par contre, d'autres filières seront en compétition pour les mêmes intrants.
Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon	Échelle commerciale : actuelle, mais pas au Canada	Oui. Valorise une panoplie de biomasses. Par contre, d'autres filières seront en compétition pour les mêmes intrants.
Pyrolyse - Biocombustible liquide - Biohuile	Échelle commerciale : actuelle, c'est plus long pour l'alimentation des moteurs diesel	Oui. Valorise une panoplie de biomasses et peut également valoriser plusieurs formes de matière organique : solide, liquide ou semi solide d'origine végétale ou animale.
Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz	Échelle commerciale : actuelle	Oui. Valorise une panoplie de biomasses et peut également valoriser les résidus d'élevage (fumiers). Toutefois, d'autres sources non agricoles peuvent être plus concurrentielles.
Matériaux d'origine renouvelable		
Biofibre	Échelle commerciale : actuelle	Oui. Valorise une panoplie de biomasses. Par contre, d'autres filières seront en compétition pour les mêmes intrants.
Chimie verte		
Biolubrifiant	Échelle commerciale : actuelle	
Biosolvant	Échelle commerciale : actuelle	

Procédé - Bioproduit	Maturité technologique	Disponibilité de la biomasse
Détergent et surfactant	Échelle commerciale : actuelle	Non. Les intrants agricoles présentent une plus grande valeur ajoutée lorsque valorisés par les filières alimentaires. En fait, ce sera une question de marché pour l'industrie à long terme. Par exemple, l'usine TRT-ETGO à Bécancour valorisera les huiles végétales avec des filières de la chimie verte si celles-ci s'avèrent rentables. Pour l'agriculteur, le marché correspondra à cette usine qui achètera et donnera un prix selon la qualité du grain.
Biocatalyseur	Échelle commerciale : actuelle	
Synthèse de l'acide azélaïque - Élément précurseur	Échelle commerciale : 5 ans	
Distillation - Huiles essentielles	Échelle commerciale : actuelle	Oui. Valorise une panoplie de biomasses.

À la lumière de l'analyse effectuée dans le Tableau 12, il est possible de conclure que plusieurs des filières documentées satisfont les deux critères discriminants. D'abord, dans tous les cas, les procédés ont déjà atteint l'échelle commerciale ou l'atteindront à court et à moyen terme (soit moins de 10 ans). De plus, ces derniers sont applicables au contexte canadien et québécois. Ensuite, concernant la disponibilité de la biomasse, l'ensemble des filières bioénergétiques et des matériaux d'origine renouvelable satisfont le critère, sauf la filière de la transestérification pour la production de biodiésel. Ces filières valorisent une panoplie de biomasses agricoles. Cependant, les filières de la chimie verte apparaissent comme étant moins prometteuses, puisque les intrants agricoles utilisés risquent de présenter une plus grande valeur ajoutée, lorsque valorisés par les filières alimentaires. Seule la filière de la distillation permet de valoriser une grande variété de biomasses.

Sur la base des deux critères discriminants, neuf filières apparaissent donc intéressantes au premier abord :

- Fermentation - Bioéthanol
- Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique
- Gazéification - Carburant renouvelable
- Densification - Biocombustible solide - Granules
- Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon
- Pyrolyse - Biocombustible liquide - Biohuile
- Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz
- Matériaux d'origine renouvelable - Biofibre
- Distillation - Huiles essentielles

TABLEAU 13 – ÉVALUATION DES FILIÈRES DE PRODUCTION DES BIOPRODUITS – CRITÈRES LIMITANTS ET ACCESSOIRES

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Potentiel de développement	Potentiel de rentabilité	Réglementation	Marchés locaux	Bilan environnemental	Disponibilité de données	Brevet
Bioénergie								
Fermentation - Bioéthanol	Faible : volumes et création d'emplois limités. Une diversification de l'approvisionnement pour inclure des sources de biomasse riches en sucre qui sont cultivables sur des terres marginales pourrait avoir un impact positif sur la valeur ajoutée de ce bioproduit.	Besoins à combler : environ 280 MI	La rentabilité à partir des plantes sucrées n'est pas déterminée et pourrait être plus élevée que celle à partir de grains.	Favorisante - Selon la réglementation fédérale, l'essence devra contenir 5 % de carburant renouvelable à partir de septembre 2010.	Existent (Potentiel estimé à environ 420 MI)	Faible	Très bonne	Non
Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique	Moyenne : bonne diversité, ce procédé peut engendrer potentiellement des impacts économiques importants, mais le niveau actuel d'avancement des technologies limite la valeur ajoutée.	Élevé	Incertain. Dépendra du développement d'enzymes plus efficaces et de la logistique de transport.	Favorisante	Peu développés	Bon	Moyenne	Non
Transestérification - Biodiésel	Faible : filières alimentaires plus intéressantes pour les grains oléagineux et ressources agricoles du Québec limitées pour approvisionner cette filière.	Peu élevé	Moyen	Favorisante*	Existent (Potentiel estimé à environ 120 MI)	Bon	Très bonne	Non

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Potentiel de développement	Potentiel de rentabilité	Réglementation	Marchés locaux	Bilan environnemental	Disponibilité de données	Brevet
Gazéification - Carburant renouvelable	Élevée : Peut être en aval de plusieurs autres procédés. Diversité des sources. Peut engendrer des impacts économiques potentiellement importants.	Très élevé	Incertain. Dépendra des sources de biomasse et des résidus utilisés et de la demande.	Favorisante	Existence	Bilans thermique et environnemental considérés meilleurs que ceux des technologies de première génération.	Moyenne	Non
Densification - Biocombustible solide - Granules	Moyenne : le niveau de transformation est peu élaboré. Le niveau d'investissement, les volumes potentiels et la diversité des sources d'approvisionnement, pourraient engendrer d'importantes retombées économiques.	Moyen à élevé	Incertain. Dépendra de l'approvisionnement et des prix de la matière première, de la performance des opérations, des prix des granules et du prix de l'énergie.	Contraignante	Peu développé	Bon	Bonne	Non
Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon	Moyenne : étant donné la valeur du produit fini, ce procédé ne semble pas apporter beaucoup de valeur ajoutée à la biomasse. Par contre, la diversité des sources pourrait engendrer d'importantes retombées économiques dans les régions du Québec.	Très élevé	Incertain. Dépendra du prix du biocharbon.	Contraignante	Absence	Bon	Bonne	Non

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Potentiel de développement	Potentiel de rentabilité	Réglementation	Marchés locaux	Bilan environnemental	Disponibilité de données	Brevet
Pyrolyse - Biocombustible liquide - Biohuile	<p>La diversité des sources ajoute de la valeur à cette filière en termes de retombées économiques.</p> <p>De plus, les biohuiles peuvent à leur tour servir comme matière première pour la fabrication de biorésines et produits pharmaceutiques, à plus forte valeur ajoutée.</p>	Élevé	Moyen, si la capacité de traitement est supérieure à 500 t/j.	Ne s'applique pas	Absence	Nul	Bonne	Non
Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz	<p>Élevée : l'utilisation de matières premières qui seraient normalement destinées à l'enfouissement témoigne de la haute valeur ajoutée.</p> <p>L'investissement requis et le degré de transformation de la biomasse rendent possible l'édification de plusieurs petites unités de biométhanisation impliquant des retombées économiques importantes.</p>	Très élevé	Le biogaz produit à la ferme peut être valorisé directement sous forme d'énergie thermique. La biométhanisation n'est pas rentable dans le contexte actuel, car il n'est pas possible de vendre de l'électricité produite à partir de la microproduction au réseau d'Hydro-Québec.	Contraignante	Absence	Bonne diminution des GES	Très bonne	Non

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Potentiel de développement	Potentiel de rentabilité	Réglementation	Marchés locaux	Bilan environnemental	Disponibilité de données	Brevet
Matériaux d'origine renouvelable								
Biofibre	Élevée : Le niveau de transformation et les sources de biomasse pouvant approvisionner cette filière contribuent à la haute valeur ajoutée. Les volumes disponibles laissent présager d'importantes retombées économiques dans plusieurs régions du Québec.	Très élevé	Faible	Ne s'applique pas	Peu développé	Bon	Très bonne	Non

* Toutefois, les exigences relatives prévues au carburant renouvelable (possiblement 2 %) dans le carburant diesel et le mazout domestique ne sont pas en vigueur au moment de la rédaction de ce document. Les modalités restent à être précisées dans la réglementation.

Procédé - Bioproduit	Valeur ajoutée	Potentiel de développement	Potentiel de rentabilité	Réglementation	Marchés locaux	Bilan environnemental	Disponibilité de données	Brevet
Chimie verte								
Biolubrifiant	Moyenne	Moyen	Incertain	Ne s'applique pas	Absence	<i>Non disponible</i>	Faible	Non
Biosolvant	Faible	Faible	Faible	Ne s'applique pas	Absence	<i>Non disponible</i>	Faible	Oui
Détergent et surfactant	Faible	Faible	Incertain	Ne s'applique pas	Absence	<i>Non disponible</i>	Faible	Oui
Biocatalyseur	Moyenne	Faible	Incertain	Ne s'applique pas	Absence	<i>Non disponible</i>	Faible	Oui
Synthèse de l'acide azélaïque - Élément précurseur	Élevée	Élevé	Élevé	Ne s'applique pas	Absence	<i>Non disponible</i>	Faible	Non
Distillation - Huiles essentielles	Variable	Moyen	Incertain	Contraignante	Existence	<i>Non disponible</i>	Faible	Non

Les détails des analyses se trouvent à l'annexe 1.

L'analyse des filières sur la base des critères limitants et accessoires, a permis d'effectuer le choix des six filières (objectif préétabli) à conserver pour l'analyse de la rentabilité et des coûts de revient prévue à la phase 2. Le choix final des filières bioindustrielles comprend les procédés suivants (et les principales raisons justifiant leur choix sont discutées ci-dessous):

- Fermentation - Bioéthanol - Millet perlé sucré
- Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique
- Gazéification - Carburant renouvelable
- Densification - Biocombustible solide - Granules
- Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz
- Matériaux d'origine renouvelable – Biofibre

6.2 Justification du choix des filières

Fermentation - Bioéthanol

Bien que la production d'éthanol dite de « première génération » ait atteint une certaine maturité technologique, avec des milliers d'usines à travers le monde, cette filière présente encore des perspectives de croissance au Québec, principalement motivées par des politiques publiques qui donnent lieu au développement de nouvelles sous-filières, notamment celle basée sur le millet perlé sucré. La production d'éthanol représente un nouveau débouché pour les producteurs agricoles qui y trouvent un marché généralement plus lucratif ainsi que des contrats garantis.

Certes, il existe plusieurs facteurs contribuant à limiter le développement de cette filière. Les prix élevés du maïs, provoqués par la forte demande, encouragent plusieurs producteurs vers cette production. Bien que cet effet soit positif pour les producteurs de grandes cultures, il en est tout autrement pour le reste du secteur agricole. Le consommateur finira également par en subir le contrecoup puisque le prix des denrées alimentaires devrait augmenter. Cependant, de nouvelles plantes comme le millet perlé sucré sont actuellement à l'étude pour la conversion de leur sève en éthanol par fermentation. Les équipements de récolte et d'extraction ainsi que la conservation à court et à moyen terme du sucre restent à être développés et perfectionnés, mais il est intéressant de considérer cette filière spécifiquement.

Hydrolyse enzymatique - Bioéthanol cellulosique

Contrairement aux technologies de production d'éthanol à partir de maïs-grain, les technologies de deuxième génération sont beaucoup moins avancées et nécessiteront encore plusieurs années de recherche et de développement avant d'atteindre la maturité commerciale. L'application commerciale des technologies de seconde génération devrait se faire d'ici 8 à 10 ans.

Les gouvernements canadiens et québécois travaillent actuellement de concert pour soutenir le développement des technologies de deuxième génération. Afin d'atteindre les objectifs fixés, le Québec devra multiplier par trois sa production de bioéthanol. La stratégie énergétique québécoise 2006-2015 mentionne qu'il serait à la fois plus rentable économiquement et plus acceptable sur le plan environnemental de choisir la filière cellulosique et cela même s'il reste à fournir des efforts au plan technologique.

Les quantités de matières lignocellulosiques générées par les industries agricoles et forestières pouvant répondre au besoin de la production d'éthanol cellulosique sont importantes. Les matières résiduelles cellulosiques urbaines triées, tel que les résidus de bois de démolition ou le papier ou carton représentent également une source abondante de matière première valorisable en éthanol.

De plus, selon les résultats disponibles à ce jour, la production d'éthanol cellulosique aurait un impact environnemental moindre sur la qualité des sols et des eaux souterraines et de surfaces que l'éthanol produit à partir de maïs. Toutefois, il faut s'assurer que le prélèvement de matières végétales résiduelles aux champs (ex. tiges de maïs, pailles, etc.) permet de maintenir un bilan humique positif et une protection adéquate des sols.

En résumé, le développement de la filière de l'éthanol cellulosique par hydrolyse enzymatique au Québec semble réalisable, d'autant plus que le gouvernement a fait connaître son intention de soutenir cette industrie. Toutefois, le Québec devra recevoir l'appui et le soutien des différents paliers gouvernementaux pour se tailler une place sur le marché de l'éthanol cellulosique.

Transestérification - Biodiésel

Cette filière n'est pas retenue pour les phases subséquentes du mandat, principalement à cause des enjeux entourant la disponibilité de la matière première et des opportunités qu'elle offre au secteur agricole québécois. Au sens strict, le procédé de production de biodiésel utilise des huiles ou graisses déjà prétraitées. Ainsi, l'utilisation des résidus organiques végétaux (huiles de friture usées et graisses de trappe) et des résidus organiques animaux (résidus d'abattoir et l'huile de poisson) est très intéressante pour la production de biodiésel, mais représente une opportunité de développement qui concerne essentiellement l'industrie de la trituration et l'industrie alimentaire. Le secteur agricole du Québec jouerait alors un rôle secondaire dans le développement d'une telle filière. Toutefois, le secteur bioalimentaire en bénéficierait.

Si l'on considère la taille théorique du marché québécois du biodiésel et un taux de pénétration de 2 % dans l'ensemble des distillats consommés dans la province, il n'y aurait pas assez de biomasses résiduelles pour combler la demande de biodiésel au Québec. D'autres sources de biomasses devront donc être exploitées. À ce titre, les cultures oléagineuses, principalement le soya et le canola, peuvent offrir des opportunités pour les producteurs agricoles du Québec. Par contre, ces opportunités se situent surtout au niveau des marchés de trituration (extraction d'huiles végétales) et non au niveau de la production de biodiésel.

Un frein au développement de la filière au sens large pourrait alors être la capacité d'extraction limitée. La construction de l'usine de trituration de grains de canola et de soya dans le parc industriel de Bécancour dans le Centre-du-Québec présente une opportunité pour les agriculteurs québécois, mais peu d'opportunité de développement pour la filière du biodiésel. En effet, la spéculation sur les matières premières (compétition avec l'industrie alimentaire entre autres) ainsi que la demande exercée sur ces matières premières est un frein important au développement de la filière du biodiésel. Selon les informations de l'industrie, le développement de la production d'autres sources d'intrants non-alimentaires, notamment celle des micro-algues, réussirait à résoudre cette impasse. Encore une fois, de telles perspectives de développement ne semblent pas représenter des opportunités pour les producteurs agricoles québécois, mais bien des opportunités pour le secteur industriel.

Gazéification - Carburants renouvelables

Cette filière est retenue pour les analyses subséquentes du mandat du fait que plusieurs unités pilotes et de démonstration de procédés de gazéification ont été développées dans le monde et que des usines commerciales de démonstration ont été construites au Canada, notamment au Québec. À long terme, il sera avantageux d'utiliser les gaz de synthèse, une fois purifiés, pour la synthèse d'une panoplie de bioproduits, dont le bioéthanol. Dans un délai de 5 à 10 ans, les technologies seront mises au point.

Les procédés de gazéification sont des alternatives de production de bioénergies qui peuvent être adaptées aux contraintes des milieux ruraux. Selon les experts, les petits producteurs agricoles et forestiers pourront s'associer en coopératives ou créer une entreprise afin de surmonter les obstacles dus au manque de volume et au coût de transport. Des coopératives pourraient ainsi construire des usines capables d'absorber différents résidus en créant des systèmes de collecte, de transport et de distribution.

De plus, la gazéification de la biomasse est une technologie dont les bilans thermique et environnemental sont considérés meilleurs que ceux des technologies de production de bioénergies de première génération.

Densification - Biocombustible solide - Granules

Les usines de densification existantes au Québec utilisent principalement de la biomasse forestière, bien qu'elles puissent aussi granuler de la biomasse agricole. Récemment, la hausse du coût de la matière première causée par une forte demande ouvre la porte à de nouvelles alternatives. Les cultures lignocellulosiques (saule à croissance rapide, peuplier hybride, panic érigé, *Miscanthus giganteus* et alpestre roseau) peuvent être produites dans l'objectif de produire des granules énergétiques. Ainsi, cette filière présente clairement une opportunité pour les producteurs agricoles du Québec. Dans une certaine mesure, les résidus du secteur agricole (tiges de maïs et résidus forestiers) peuvent aussi être utilisés par cette filière. Du côté du marché, l'utilisation des granules à des fins énergétiques est de plus en plus populaire en Amérique du Nord et en Europe. Actuellement, aucun phénomène ne laisse entrevoir une croissance du marché québécois, mais les manufacturiers peuvent baser leur modèle d'affaires sur les marchés d'exportation à court terme.

Les récentes innovations dans le domaine des systèmes de combustion de la biomasse, associées à une meilleure compréhension des stratégies pour améliorer la qualité de la biomasse agricole, permettent l'émergence d'un nouveau secteur bioénergétique potentiellement important. Par ailleurs, différentes orientations et mesures gouvernementales québécoises pourraient favoriser le développement du secteur des agro-granules. Ainsi, les granules combustibles fabriquées à partir des plantes pérennes agricoles représentent une source d'énergie renouvelable qui pourrait être développée au Québec.

Carbonisation - Biocombustible solide - Biocharbon

Considérant le coût de la matière première, ainsi que la valeur du produit fini, ce procédé ne semble pas apporter beaucoup de valeur ajoutée à la biomasse. C'est pourquoi il n'est pas retenu pour les analyses subséquentes du mandat. En effet, au niveau des marchés, le prix de ce bioproduit est celui du charbon minéral, qui varie beaucoup. De plus, les procédés qui donnent un rendement élevé en biocharbon sont encore au stade d'expérimentation.

Le développement de cette filière au niveau nord-américain, voir mondial, ne semble pas être priorisé par l'industrie des énergies renouvelables, étant donné la faible valeur du produit fini. Bien qu'il existe une diversité de sources de biomasse qui pourrait alimenter cette filière, nous dénotons une absence de marché pour ce bioproduit. Par ailleurs, les filières qui sont en compétition avec la carbonisation pour ces mêmes sources de biomasse sont nombreuses : la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la méthanisation et la fermentation, ainsi que les autres filières de bioproduits (fabrication de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.).

Pyrolyse - Biocombustible liquide - Biohuile

Cette filière n'est pas retenue principalement pour deux raisons. D'une part, les technologies de pyrolyse n'ont pas encore franchi les étapes de développement qui permettent des unités techniquement viables, économiquement rentables et socialement acceptables. D'autre part, le réseau de distribution des biohuiles n'existe pas au Québec. S'il est question de mélanger cette biohuile avec le mazout lourd, il faut prévoir un réservoir calorifugé muni d'un agitateur. Considérant le coût de la matière première, ainsi que la valeur du produit fini, ce procédé ne semble pas apporter beaucoup de valeur ajoutée à la biomasse. Le prix de vente de la biohuile brute ne doit pas dépasser la moitié du prix du mazout lourd (entre 0,30 et 0,40 \$/l), alors que l'investissement requis ne semble pas permettre à cette filière d'atteindre de telles cibles.

Biométhanisation - Biocombustible gazeux - Biogaz

Cette filière est retenue pour les étapes subséquentes du mandat du fait que la technologie est déjà largement répandue. De fait, plusieurs technologies ont atteint un stade de maturité de commercialisation et de fonctionnement. Dans le contexte québécois, cette technologie est particulièrement intéressante au niveau de la valorisation des effluents d'élevage, ainsi que d'un point de vue environnemental. Pour le traitement du lisier, ce procédé présente plusieurs avantages telles la réduction des germes pathogènes et l'atténuation des odeurs, la minéralisation des éléments fertilisants ou encore l'amélioration de la fluidité du digestat et la diminution de la pollution due au lessivage de l'azote. De plus, la méthanisation à la ferme permet de réduire les émissions de GES par la meilleure gestion des déjections animales (en supprimant ou réduisant leur entreposage) et par la substitution de l'énergie fossile qui résulte de la valorisation énergétique du méthane produit.

D'un point de vue économique, des revenus ou des économies annuels peuvent être engendrés par la production d'énergie renouvelable (chauffage, électricité, etc.), ainsi que par la réduction d'achat d'engrais minéraux. D'un point de vue social, la cohabitation entre le monde rural et le voisinage est facilitée en raison de la réduction des odeurs (Brodeur *et al.*, 2008a).

L'approvisionnement en effluents d'élevage ne devrait pas poser problème étant donné qu'un certain nombre d'exploitations sont en surplus à l'heure actuelle. Pour l'instant au Québec, il n'est pas possible de vendre de l'électricité produite à partir d'un processus de biométhanisation à la ferme au réseau d'Hydro-Québec (Brodeur *et al.*, 2008a). Toutefois, un programme de microproduction est en développement, il viserait un rachat de l'électricité excédentaire. De plus, quelques programmes de subventions permettent d'obtenir des aides financières (Perrault, 2007), dont le programme Prime-Vert, volet « technologie de gestion des surplus » et des mesures fiscales telles que le crédit d'impôt pour l'acquisition d'installations de traitement du lisier de porcs. En somme, les différents points sur lesquels agir afin de permettre le développement de l'implantation de cette technologie au Québec seraient atteignables à moyen terme, avec une volonté politique de soutien (Perreault, 2007).

Biofibre

Au Québec, on assiste à un virage progressif vers la construction dite « écologique » ou « bâtiments verts ». La notion de construction écologique englobe plusieurs concepts, dont celui de l'utilisation de matériaux à faible impact sur l'environnement. C'est dans ce contexte que le Québec encourage la recherche appliquée sur la fabrication d'une nouvelle gamme d'isolants à base de bois, de paille et de textiles usagés. L'implantation d'usines de fabrication de panneaux à base de biofibres dans les régions ressources du Québec pourrait avoir un impact socioéconomique important si on se réfère au plan stratégique de certaines régions du Québec, comme le Bas-Saint-Laurent, qui se lancent dans la fabrication des écomatériaux pour l'écoconstruction.

Actuellement, la filière est non rentable sans subventions; toutefois, des mesures incitatives pourraient encourager les constructeurs et les consommateurs à choisir des matériaux écologiques pour la construction de maisons et d'édifices verts. Étant donné le potentiel de développement, cette filière est retenue pour les étapes subséquentes du mandat.

Chimie verte (Biolubrifiant, Biosolvant, Détergent et surfactant, Biocatalyseur, Synthèse de l'acide azélaïque - Élément précurseur)

À première vue, les filières qui relèvent du domaine de la chimie verte ont une production de niche à forte valeur ajoutée et devraient être privilégiées pour que le Québec puisse se prémunir, dans une certaine mesure, contre la compétition internationale. En effet, ces filières semblent présenter un certain dynamisme parmi l'ensemble des filières de bioproduits industriels au Québec. Par exemple, l'entreprise Bio-Diesel Québec Inc. fabrique une panoplie de ce type de bioproduits (bio-chaîne, bio-mazout, bio-lub, etc.). Toutefois, ces bioproduits sont presque exclusivement faits à partir d'huiles végétales recyclées. Ainsi, aucune de ces filières n'est retenue pour les étapes

subséquentes du mandat, les raisons qui justifient ce choix étant essentiellement les mêmes que pour la filière du biodiésel.

L'utilisation des résidus organiques d'origine végétale et animale est très intéressante pour ces filières, mais représente davantage une opportunité de développement pour l'industrie de la trituration, l'industrie alimentaire et le secteur de l'abattage. En vérité, les producteurs agricoles du Québec joueront un rôle secondaire dans le développement de ces filières. D'ailleurs, les productions de grains oléagineux qui présentent un potentiel de développement au Québec, tels le soya, le lin et le canola, donnent lieu à des huiles de qualité qui ont une valeur élevée sur les marchés alimentaires. En conséquence, l'importation d'autres huiles à plus faible valeur (huiles de palme, de coco et de ricin par exemple) pourrait contribuer davantage au développement de ces filières. De plus, plusieurs de ces filières doivent surmonter des défis importants afin d'être compétitives avec les filières concurrentes. Cela dit, ces filières présentent un potentiel de développement au Québec et, à plus long terme, peuvent contribuer à l'émergence d'une agriculture diversifiée. Par contre, ces filières sont pour l'instant méconnues.

Enfin, les éléments nécessaires pour que l'on soit en mesure d'analyser ces filières d'un point de vue technico-économique sont absents de la littérature. Selon les informations fournies par les experts du secteur québécois de l'oléochimie, les détails des éléments clés d'une telle analyse, tels que les investissements requis, les coûts d'opération, les coûts de transport, plusieurs éléments techniques, les problématiques commerciales, etc. demeurent non disponibles ou confidentiels pour la grande majorité des filières relevant du secteur de la chimie verte.

Distillation - Huiles essentielles

Cette filière n'est pas retenue pour les analyses subséquentes du mandat du fait que peu de données sont disponibles par rapport à la taille optimale d'une usine et sa rentabilité. Nonobstant, l'huile essentielle est un produit de niche à forte valeur ajoutée, mais la filière dans son ensemble reste marginale et présente un potentiel de développement moyen. L'opportunité réside dans les huiles essentielles issues de la matière ligneuse. Les plantes aromatiques sont intéressantes et peuvent être rentables sur le long terme, mais le potentiel de production de ces plantes à l'échelle provinciale demeure réduit.

RÉFÉRENCES

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie [ADEME], AILE, SOLAGRO et TRAME (2006). *La méthanisation à la ferme*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Disponible en ligne : <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=38550&p1=02&p2=05&ref=17597>
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie [ADEME] (1998). *Résidus de cultures : Paille de lin oléagineux*. Étude Agricole. Disponible en ligne : http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/fichier/communiquer/279_pail_lin.pdf
- Agriculture et Agroalimentaire Canada [AAC] (2009). Chanvre industriel. Site Internet consulté le 11 juin 2009. Disponible en ligne : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1174595656066&lang=fra>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2007). Statistiques sur les huiles essentielles. Disponible en ligne : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1174494414393&lang=fra>
- Agrinova (2009). *Portrait des cultures énergétiques et potentiel de développement dans les différentes régions du Québec. Rapport final*. Présenté à La Coop Fédérée, Service innovation et croissance.
- Alberta Agriculture, Food and Rural Development (2006). *2006 Cost and Return Guide*. AgriProfit\$: Economics and Competitiveness. Disponible en ligne : <http://www.agric.gov.ab.ca/pdf/rtw/economics/06darkbrown.pdf>
- Allard, F. (2007). *Les cultures intensives sur courtes rotations pour la production d'énergie*. Agro-énergie et Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAQ). Disponible en ligne : www.caaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/MEMOIRE/14-08-J-Agro%20Energie%20inc.pdf
- Andrews, D.J. et K.A Kumar (1992). *Pearl millet for food, feed and forage*. *Advances in Agronomy*, 48: 89-139.
- Arzate, A. (2005). *Extraction du sucre de betterave*. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture (ACER). 40 p. Disponible en ligne : http://www.centreaer.qc.ca/publications/Interet/PDF/Betterave_Publique.pdf
- Association d'Initiatives Locales pour l'Énergie et l'Environnement (AILE). (2009). *Biogaz*. Disponible en ligne : <http://www.aile.asso.fr/valorisation-de-la-biomasse/biogaz>
- Bajpai, P.K. et P. Bajpai (1991). *Cultivation and Utilization of Jerusalem Artichoke for Ethanol, Single Cell Protein, and High-fructose Syrup Production*. *Enzyme Microb. Technol.* Vol. 13, avril, p. 359-362. Disponible en ligne : <http://www.patentstorm.us/patents/4871574/fulltext.html>
- Banque d'entreprises du Québec du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ). Site Internet consulté le 26 mai 2009. Disponible en ligne : <http://www.icriq.com>
- Beauregard, G. (2006). *Budget tournesol 2006 l/hectare*. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.
- Beauregard, G. et D. Ruel (2007). *Budget de culture du lin-2007*. MAPAQ. Disponible en ligne : http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/documents/LIN_2007.XLS
- Beauregard, S. (2008). *La méthanisation du lisier de porcs dans une optique de développement durable*. COGENOR. Disponible en ligne : www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/ronlyres/E3B5CBEE-829D-4352-BEC4.../Lamthanisationdulisierdansuneoptiquededveloppement.pdf
- Bélaïr, G., Dauphinais, N., Fournier, Y., Dangi, O.P. et M.F. Clément (2005). *Effects of forage and grain pearl millet on *Pratylenchus penetrans* and potato yields in Québec*. *J. Nematol.* 37 (1) : 78-82.

- Bélaïr, Guy, Clément, F (2004). *L'utilisation du millet perlé (Pennisetum glaucum) comme culture de rotation dans la pomme de terre*. Réseau d'avertissements phytosanitaires – Bulletin d'information No 03 – pomme de terre.
- Bérubé, C. et N. Surdek (2009). *Évaluation du potentiel agronomique et du rendement en huile de la cameline (Camelin sativa) en culture de couverture du soya cultivé sans intrants*. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (à paraître), 40 p.
- Biocap Canada (2006). *Annual Report 2005-2006*. 42 p. Disponible en ligne : www.biocap.ca/images/pdfs/biocap_annual_2005-06.pdf
- Boralex (2008). Mémoire déposé dans le cadre des consultations publiques à propos du livre vert « *La forêt, pour construire le Québec de demain* » du Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec. Disponible en ligne : http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/memoires/mem_ind_011_061_boralex.pdf
- Brodeur, C., C. Michaud et I. Charron (2006). *Documentation des innovations technologiques visant l'efficacité énergétique et l'utilisation de sources d'énergie alternatives durables en agriculture. Rapport No 2*. Groupe AGECO. 106 p.
- Brodeur, C., D. Crowley, X. Desmeules, S. Pigeon et R.-M. St-Arnaud (2008a). *La biométhanisation à la ferme*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec. Disponible en ligne : <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC033.pdf>
- Brodeur, C., J. Cloutier, D. Crowley, X. Desmeules, S. Pigeon et R.-M. St-Arnaud (2008b). *La production de biocombustibles solides à partir de biomasse résiduelle ou de cultures énergétiques*. CRAAQ. Disponible en ligne : <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC032.pdf>
- Brodeur, C., J. Cloutier, D. Crowley, X. Desmeules, S. Pigeon et R.-M. St-Arnaud (2008c). *La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Québec. Disponible en ligne : <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC029.pdf>
- Brodeur, C., J. Cloutier, D. Crowley, X. Desmeules, S., Pigeon et R.-M. St-Arnaud (2008d). *La production d'éthanol à partir de matière lignocellulosique*. CRAAQ. Disponible en ligne : <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC030.pdf>
- Camirand, E. (2007). *Le biogaz, c'est notre affaire!* Journée sur la méthanisation des engrais de ferme, Sainte-Julie. Disponible en ligne : http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/PAGES_M%c3%a9thanisation_Camirand_Eric.pdf
- Casséus, L. (2009). *Le canola : un cas de réussite au Canada*. Statistique Canada. Disponible en ligne : <http://www.statcan.gc.ca/pub/96-325-x/2007000/article/10778-fra.htm>
- Centre d'expertise sur les produits agroforestiers (CEPAF, 2007). *La production des biocarburants dans les milieux ruraux du Québec*. Disponible en ligne : <http://www.cepaf.ca/pdf/biocarbur.pdf>
- Centre de référence en agriculture du Québec (CRAAQ, 2003a). *Guide de référence en fertilisation 1^{re} édition*.
- Centre de référence en agriculture du Québec (CRAAQ, 2003b). *Période transitoire – Charges fertilisantes des effluents d'élevage*. Québec
- Centre québécois de valorisation des biotechnologies (CQVB, 2008). *Bio Veille Oléochimie industrielle*. Disponible en ligne : http://www.cqvb.qc.ca/stock/fra/bv-08-3_oleochimie.pdf
- Centre technologique des résidus industriels (CTRI, 2006). *Du peuplier hybride comme source d'énergie*. Disponible en ligne : <http://www.cegepat.qc.ca/ctri/infoctri/Infoctri0610.pdf>
- CEPAF - Centre d'expertise sur les produits agroforestiers (2007). *La production de biocarburants dans les milieux ruraux du Québec*. Pour le Ministère des affaires municipales et des régions, mai 2007, 146 p. Disponible en ligne : <http://www.cepaf.ca/pdf/biocarbur.pdf>

- Cevenat (2009). *Les huiles essentielles qualité distillation*. Site Internet consulté le 14 mai 2009.
<http://cevenat.fr/Aromathérapie/Laproduction/tabid/46/language/fr-FR/Default.aspx>
- Charest, C. (2008). *Le point sur la Méthanisation. 2^e article*. Bulletins de Fertior. Division traitement. Chemistry of natural compound, 2007. Vol 43. N° 6.
- Clean Fuels Development Coalition, Nebraska Ethanol Board and United States Department of Agriculture (2006). *A Guide for Evaluating the Requirements of Ethanol Plants*. 48 p.
- Clément, F, M. (2008). *Produire de l'éthanol et du fourrage avec le millet perlé sucré et le sorgho sucré pour mieux développer la production bovine en Outaouais*. 71^e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec.
- Collins, K. (2006). *US agriculture and the emerging bioeconomy*. Disponible en ligne :
www.usda.gov/documents/Dr.CollinsEnergyConference.ppt
- Commission canadienne des grains. (2009). *Qualité du canola de l'Ouest canadien en 2008. 6. Teneur en huile*. Disponible en ligne : <http://www.grainscanada.gc.ca/canola/harvest-recolte/2008/hqc08-qrc08-6-fra.htm>
- Coulibaly, L.-A. (2007). *Compte-rendu du quatrième Sommet de l'Association canadienne des énergies renouvelables*. Centre de développement du porc du Québec Inc. (CDPQ), Québec.
- CRIQ (Centre de recherche industrielle du Québec) (2009). *Pré faisabilité technique et financière sur les isolants naturels à base de bois et potentiel de commercialisation*. Rapport technique no RT-39543. Étude réalisée pour Promotion de produits forestiers P.P.F., Q-WEB (Québec Wood Export Bureau).
- Crolla, A., C. Kinsley et E. Pattey (2007). *La digestion anaérobie : biogaz et les impacts environnementaux*. Journée sur la méthanisation des engrais de ferme, Sainte-Julie.
- Desilets, A. (2005). *La culture d'oléagineux, une opportunité de développement*. OLEOTEK. Disponible en ligne :
http://www.oleotek.org/publications/OLEOTEK_Culture_des_oleagineux.pdf, consulté le 21 mars 2007.
- Dion, Y. (2007). *Communication à propos du potentiel de la culture du triticale au Québec*. Centre de recherche sur les grains (CEROM). Communication personnelle.
- Dohleman, F.G., Heaton, E.A. et S. P. Long. (2008). *Miscanthus and Switchgrass Trials in Illinois*. University of Illinois. 30 p.
- Easson D.L., E.G.A. Forbes et V.B. Woods (2004). *Potential of cropping for liquid biofuels in Northern Ireland; an evaluation of the impact of the EU directive on promotion of biofuels for transport (2003/30/EC) on the market for biofuels in Northern Ireland*. Departement of agriculture and rural development for northern irland, HillsBorough. June 2004.
- ÉcoRessources Consultants (2010). *Emerging biomass pellet environmental and economic assessment*. Préparé pour Environnement Canada. 102 p.
- ÉcoRessources Consultants et le Groupe Sine Nomine (2007). *Étude de faisabilité et de rentabilité de la production du tournesol pour la fabrication de biodiésel dans le Centre-du-Québec*. Étude pour le Syndicat des producteurs de cultures commerciales du Centre-du-Québec (SPCCCQ), 87 p.
- Fédération des producteurs de pommes de terres du Québec (2007). *Mémoire présenté dans le cadre de la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois*. 27 p. Disponible en ligne :
<http://www.fpptq.qc.ca/Textes/Memoire%20CAAAQ.doc>
- Financière Agricole du Québec. *Coûts de production de la pomme de terre : 2005; 2006 et 2007*. FAQ, consulté en mai 2009. Disponible en ligne :<http://www.fadq.qc.ca/index.php?id=1052>.
- Fischer, T. (2007). *Expérience allemande : Politique et apprentissage technologique*. Journée sur la méthanisation des engrais de ferme, Sainte-Julie.

- Fortier, J. (2008). *Le reboisement au Québec : quelle place pour la ligniculture?* Réseau ligniculture Québec. Disponible en ligne : <http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/StatistiqueReboisementLigniculture.pdf>
- Fournier, A. (2001). *L'avoine nue pour les vaches laitières...oui c'est intéressant!* MAPAQ, Direction générale des affaires régionales. Disponible en ligne : <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/Documents/Avoine%20nue.pdf>.
- FPCCQ – Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (2009a). *Prix vendant aux centres régionaux*. Historique de prix du maïs, soya, orge, avoine, blé. Résultats des enquêtes effectuées par Agriculture Canada auprès de certains centres régionaux. Ces prix représentent les prix de vente déclarés par les centres régionaux. FPCCQ consulté en mai 2009. Disponible en ligne : http://216.226.42.90/Files/prix_Cr_grains.pdf
- FPCCQ – Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (2009b). *Offre et demande du Québec*. Rapport de l'offre et de la demande du Québec pour le maïs, soya, orge, avoine et blé au 24 avril 2009. FPCCQ consulté en mai 2009. Disponible en ligne : <http://216.226.42.90/Files/Tous%20grains.pdf>
- Gagnon, R., M. Barriga et G. Martin (2005). *Évaluation du potentiel de valorisation des boues d'usines d'abattage et de découpe*. Cinthech Agroalimentaire, rapport final. Présenté au Conseil d'administration du Fonds de développement de la transformation alimentaire (F.D.T.A.), 37 p.
- Girouard, P., B. Mehdi et R. Samson. (1998) *Le chanvre industriel au Québec : un guide de production*. R.E.A.P. Canada. Disponible en ligne : [http://www.reap-canada.com/online_library/Reports and Newsletters/Agri-Fibres/4 Le Chanvre.pdf](http://www.reap-canada.com/online_library/Reports%20and%20Newsletters/Agri-Fibres/4%20Le%20Chanvre.pdf)
- Girouard, P., B. Mehdi, R. Samson et P.-A. Blais (s.d). *Le panic érigé dans l'Est de l'Ontario : Un guide pour les producteurs*. REAP – Canada. Disponible en ligne : <http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/SwitchgrassGuide98Fr.pdf>
- Giroux, I. (2003). *Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre*. Campagne d'échantillonnage 1999-2000-2001. Ministère de l'environnement. 23 p.
- Gouvernement de l'Alberta, Développement rural et agriculture. (2008). *The Economics of Sugar Beet Production in Alberta 2007*. Disponible en ligne : [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex12666/\\$file/171_821-5.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex12666/$file/171_821-5.pdf?OpenElement)
- Groupe Sine Nomine (2007). *Évaluation de l'infrastructure de distribution du biodiésel au Canada*. Préparé pour Ressources naturelles Canada. 38 p. Disponible en ligne : <http://sinenomine.ca/Download/Feuille%20de%20route%20-%20Version%20finale.pdf>
- Hofman, V. (2003). *Biodiesel Fuel*. North Dakota State University Extension Service. Disponible en ligne : (<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/machine/ae1240.pdf>)
- ICIS pricing (2008). *Glycerine (US Gulf)*. Disponible en ligne : http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage170.asp
- Institut national de la recherche agronomique (INRA, 2009). Site Internet consulté le 26 mai 2009. http://www.inra.fr/inra_cepia/vous_recherchez/des_resultats/des_solvents_d_origine_vegetale
- Intégration des énergies renouvelables à la ferme. (IREF, 2008) *Utilisation des déchets agricoles et des cultures énergétiques dans les systèmes de combustion de biomasse*. Site Internet consulté le 27 mai 2009. <http://www.ferme-energie.ca/IREF/index.php?page=agricultural-residues>
- ISQ – Institut de la statistique du Québec (2009). *Tableau M.1.1 : Superficie des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative, Québec*. Disponible en ligne : http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/index.htm, dernière mise à jour : 11 février 2009, consulté en mai 2009.
- Kalyan A., Ishwar K. Puri. (2009). *Combustion science and engineering*. CRC Press.
- Kompass. Site Internet consulté le 21 mai 2009. <http://www.kompass.ca>

- Labrecque M. (2008). *La culture du saule au Québec : 15 ans de recherche*. Rencontre technologique du 18 septembre 2008 – Les cultures énergétiques nouvelles.
- Labrecque M., T.I, Teodorescu, S.T., Sean (2004). *Retombées commerciales envisagées pour la ligniculture du saule au Québec*. Institut de recherche en biologie végétale et Forintek Canada Corp. Disponible en ligne : http://www.rlq.uqam.ca/acfas2004/presentation/Michel_Labrecque.pdf
- Laflamme, C. B. (2009). Communication personnelle. Hydro-Québec. Institut de recherche.
- Laganière, G. (2007). *Traitement anaérobie : développement durable*. Bio-Terre Systems – Programme d'atténuation des gaz à effet de serre. Journée sur la méthanisation des engrais de ferme, Sainte-Julie. Disponible en ligne : http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/PAGES_Methanisation_Laganiere_Gerard.pdf
- Lavoie, G., Robert, L. et Turcotte, P. (2006). *Le lin oléagineux*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Québec.
- Lease N., G. Goyette, G. Hayart, R. Lauzier, H. Martel, D. Naud, C. Roy, D. Ruel et L. Théberge (2008). *Évaluation du potentiel de la filière des granules combustibles fabriqués à partir des cultures pérennes*. MAPAQ. Disponible en ligne : http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Evaluation_granules.pdf
- Lurgi. Site Internet consulté en mai 2009 : www.lurgi.com/deutsch/index1.html
- MAPAQ – Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (plusieurs années). *Budgets de production à l'hectare* (2005, 2006 et 2007). Disponible en ligne : www.agrireseau.qc.ca.
- Martel, H. (2006). *L'utilisation de la graine de lin*. MAPAQ. Disponible en ligne : http://www.mapaq.gouv.qc.ca/cgi-bin/MsmGo.exe?grab_id=63&page_id=5186304&query=lin&hiword=lin
- Martel, H. et M-H. Perron (2008). *Compilation des essais de PANIC ERIGÉ réalisés au Québec*. CRAAQ. Disponible en ligne : <http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/EVC026.pdf>
- Matni Process (2007). *Techniques. Huiles essentielles*. Site Internet consulté le 19 mai 2009. Disponible en ligne : <http://www.matni.fr/Huiles%20essentielles.html>
- McLeod, J.G. et J.B. Knaack. (2000). *N'oubliez pas le triticale*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Bulletin de recherche, Volume 4, 18 février 2000, Swift Current.
- Mesly, N. (2008). *Carburer au saule: le rêve énergétique d'un jeune pionnier*. Le Coopérateur Agricole. Disponible en ligne : <http://www.lacoop.coop/cooperateur/articles/2008/03/p32.asp>
- Midel. Site Internet consulté le 4 juin 2009. <http://www.midel.com>
- Ministère de l'Environnement (2003). *Réponse à une question concernant les superficies consacrées à des bandes riveraines au Québec selon différentes hypothèses de large*. mars 2003, 2 pages. Voir site du BAPE : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/BIO143.pdf>.
- MNRF (2008). *Ressources et industries forestières. Portrait statistiques édition 2008*. Site Internet consulté le 8 juin 2009 : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-resumees.jsp>
- Morin, M. (2006). *Étude de faisabilité de l'utilisation du topinambour dans le contexte de la filière agricole du Québec*. Avis concernant les coûts de production du topinambour et son impact sur l'économie québécoise. Centre de développement du porc du Québec.
- Navaratnasamy, M., B. Koberstein, J. J. et E. Jenson (2007). *Biogas Energy Potential in Alberta*. Alberta Agriculture and Food, AGRI-FACTS, May 2007, Agdex 768-3, 4 p.
- OECD - Organization for Economic Co-operation and Development (2008). *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2008-2017*. Disponible en ligne : <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&id=47136&m=3&p1=00&p2=08&ref=17597>
- Organisation internationale de normalisation (ISO). Site Internet consulté le 29 mai 2009. <http://www.iso.org>

- Orgasynth (2008). *Rapport annuel 2007*. Disponible en ligne : http://www.orgasynth.com/fr/orgasynth/notre-groupe/espace_investisseur/doc/financier/2008-08-27%20documentdereferenceversiondefinitive.pdf
- Pageau, D., Lajeunesse, J. et J. Lafond. (2003). *Adaptation et productivité du lin oléagineux en climat frais*. Programme de Partage des Frais à l'Investissement en Recherche & Développement (PPFIRD). Rapport final. 54 pages.
- Parisien, G. (2005). *Historique du millet perlé sucré dans l'Outaouais*. Disponible en ligne : <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/2316D18F-9D4C-4DB2-B2D1-D2D56F6C6308/17672/PrsentationGPdu29janvier09Historique.pdf>
- Norme AFNOR d'une huile essentielle. Site Internet consulté le 12 mai 2009. <http://www.penntybio.com/huiles/norme-huile-essentielle.htm>
- Perrault, H. (2007). *Programme d'atténuation des gaz à effets de serre*. Journée sur la méthanisation des engrais de ferme – Compte-rendu de la journée.
- Polagye, B.L., K. T., Hodgson, and P. C. Malte (2007). *An economic Analysis of bio-energy options using thinning from overstocked forest*. Biomass and Bioenergy. 31. 105-125.
- Renaud, R. (2007). *Nouvelle Chaire de recherche en éthanol cellulosique*. Université de Sherbrooke Site Internet consulté le 15 mai 2009. http://www.usherbrooke.ca/liaison_vol41/n19/a_ethanol.html
- Ressources naturelles Canada (2009a). Transport – Secteur commercial. Disponible en ligne : <http://oe.e.rncan.gc.ca/transports/ecoenergie-biocarburants/incitatifs.cfm?attr=16>.
- Ressources naturelles Canada (2009b). L'éthanol un carburant écologique d'avenir. Site Internet consulté le 22 mai 2009.
- Riley, W. W. (2004). *The Canadian Biodiesel Industry : An Analysis of Potential Feedstocks Prepared for Biodiesel Association of Canada*. Disponible en ligne : http://www.greenfuels.org/main/biodiesel/pdf/res/102004_Potential_Feedstock_for_Canadian_Biodiesel_Industry.pdf, consulté le 26 mars 2007.
- Rioux R. et G. Lévesque-Beaudet (2009). *Fiche de culture de la chicorée*. Biopierre.
- Rioux, R. (2009) *Production de chicorée pour la transformation en farine prébiotique*. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (2009).
- Robert, L. (2005). *Le triticale : une culture oubliée qui fait partie de la solution*. Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ), Journal Vision agricole, édition juin 2005.
- Roche ingénieurs-conseils (2007). *Étude de préfaisabilité – Projet de bioénergie forestier*. 137 p.
- Rogulski, B. (s.d.) *Idée de création bio avec les huiles essentielles*. Salon des entrepreneurs. Disponible en ligne : <http://www.salondesentrepreneurs.com/idee-creation-bio-avec-huiles-essentielles-214.html>
- Rue du chanvre (s.d). Huile essentielle de chanvre. Disponible en ligne : <http://www.rueduchanvre.com/Autres/huilessentiel.htm>
- Samson, R., S. Bailey et C. Ho Lem (2006). *Biomass resources options: Creating a BIOHEAT supply for the Canadian greenhouse industry*. Rapport de recherche, phase I, pour Ressources naturelles Canada. 38 p. Disponible en ligne : [http://www.reap-canada.com/online_library/feedstock_biomass/Biomass%20Resource%20Options%20Creating%20a%20BIOHEAT%20Supply%20...%20\(Bailey%20et%20al.,%202006\).pdf](http://www.reap-canada.com/online_library/feedstock_biomass/Biomass%20Resource%20Options%20Creating%20a%20BIOHEAT%20Supply%20...%20(Bailey%20et%20al.,%202006).pdf)
- Samson, R., S. Mani, R. Boddey, S. Sokhansanj, D. Quesada, S. Urquiaga, V. Reis et C. Ho Lem (2005). *The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIO-HEAT industry*. Critical Reviews in Plant Science 24 : pages 461 à 495.

- Santé Canada. Foire aux questions sur le chanvre industriel. Site Internet consulté le 11 mai 2009. <http://www.hc-sc.gc.ca/hc-ps/substancontrol/hemp-chanvre/about-afpropos/faq/index-fra.php#a20>
- Sergies (s.d). *La méthanisation à la ferme*. Disponible en ligne : <http://www.sergies.fr/fr-16-methanisation.html>
- Sheehan, J., A. Aden, K. Paustian, K. Kilian, J. Brenner, M. Walsh et R. Nelson (2004). *Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol*. Journal of Industrial Ecology, volume 7, number 3-4, p. 117-146.
- Sigouin, M.É. et S. Gaussiran (2006). La culture du peuplier hybride. Centre technologique des résidus industriels (CTRI). Disponible en ligne : http://www.afat.magnummedia.ca/images/file/peup_hybride_maf.pdf
- Smith, D. L. (2007). *Biofuel Crops : Power Plants of the Future*. Professeur titulaire au département de Plant Science de l'Université McGill. Conférence à Saint-Hyacinthe le 25 septembre 2007 dans le cadre des séminaires de l'IRDA.
- Sokhansanj, S. et J. Fenton (2006). *Cost benefit of biomass supply and pre-processing. A Biocap Reasearch Program*, synthesis paper.
- Statistique Canada (2007). *Recensement de l'agriculture de 2006. Données sur les exploitations et les exploitants agricoles*, n° 95-629-XWF au catalogue. Disponible en ligne : http://www.statcan.ca/francais/freepub/95-629-XIF/2007000/crops_f.htm, consulté le 11 juillet 2007.
- Statistique Canada (2008). *Du sucre dans la betterave?* Disponible en ligne : <http://www.statcan.gc.ca/pub/96-325-x/2007000/article/10576-fra.pdf>
- Stratton, A., J. Kleinschmit et D. Keeney (2007). *Camelina*. Institute for Agriculture and Trade Policy Rural Communities Program, 2 p.
- Tao, L. et A. Aden (2009). *The economics of current and future biofuels*. In *Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 45, p. 199 – 147.
- The Agricola Group (2008). *Stratégie nationale sur le chanvre industriel*. Préparé pour Agriculture, Alimentation et Initiative rurales Manitoba et Agriculture et Agroalimentaire Canada. 9 p.
- Turcotte, P. (1999). *Le lin oléagineux : une autre culture qui vient de l'Ouest*. CÉROM. Grandes Cultures, vol. 9 (4), p. 12
- Turko, Y.A., Korobko, N.V., Shokun, V.V., Chernyak, E.N., Vyalkov, A.I., Stepankina, O.N., Kerimzhanova, B.F., Baltaev, U.A. (2007). *GC – MS Research. I. Essential Oil from Stevia rebaudiana*. Chemistry of Natural Compounds, 43(6). 744-745.
- United States Department of Agriculture (2006). *The Economic Feasibility of Ethanol Production from Sugar in the United States*. 69 p.
- Vertec Biosolvents. Site Internet consulté le 26 mai 2009 : <http://www.vertecbiosolvents.com/index.html>
- Voulligny, C. et S. Gariépy (2008). *Les friches agricoles au Québec : état des lieux et approches de valorisation*. Rédigé pour Agriculture et Agroalimentaire Canada, 66 p.
- Welke, S. (2006). *Les plantations dans le but de produire de l'éthanol de bois et leurs implications sur l'aménagement durable des forêts*. Réseau de gestion durable des forêts. Série de Notes de Recherche, N° 23. Disponible en ligne : http://www.sfmnetwork.ca/docs/f/RN_F23_Plantations_de_l_ethanol_de_bois.pdf
- Worldwatch Institute pour le ministre fédéral allemand de l'alimentation (2006). *Biofuels for transportation, global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century —Extended Summary*. Préparé en coopération avec the Agency for Technical Cooperation (GTZ) et the Agency of Renewable Resources (FNR), Washington.
- Yamazaki, H., H.W. Modler, J.D. Jones, J.I. Elliot (1989). *Process for Preparing Flour from Jerusalem Artichoke Tubers*.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME, 2009). *Marché actuel et prospectif des bioproduits industriels et des biocarburants en France*. Disponible en ligne : <http://www.ademe.fr/partenaires/agric/htdocs/Documents/Article-marche-bioproduitsV2.pdf?cid=96&m=3&id=29729&p2=14228&ref=14228>
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME, 2007). *Marché actuel des bioproduits industriels et des biocarburants - Évolutions prévisibles à échéance 2015/2030*. Disponible en ligne : <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&id=47136&m=3&p1=00&p2=08&ref=17597>
- Agence Internationale de l'énergie (2004). *Biofuels for Transport: An International Perspective*. Paris.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC, 2009b). *La culture du peuplier hybride*. Centre des brise-vent de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies. Site Internet consulté le 10 juin 2009. <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1192558977095&lang=fra>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC, 2009c). *Statistiques sur le chanvre industriel*. Site Internet consulté le 11 juin 2009. <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1174495716187&lang=fra>
- Agriculture et agroalimentaire Canada (données concernant la production de canola au Canada). Site Internet consulté le 6 juin 2009 : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1181756917366&lang=fra>
- AGRIDEA. Site Internet consulté le 15 mai 2009. <http://www.srva.ch>
- Allard F. (2007). *Mémoire présenté à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAAQ)*. Disponible en ligne : www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/MEMOIRE/14-08-J-Agro%20Energie%20inc.pdf
- Asea Brown Boveri (ABB Inc., 2009). Site Internet consulté le 4 juin 2009. <http://www.abb.com>
- Baudoin, J.-G. (2004). *Les fibres végétales en Région Wallonne, les potentialités du chanvre et ses utilisations*. ValBiom. Gembloux.
- Bergeron, L., H. Bernier, G. Langlais, F. Lebel et A. Vézina (2007). *La production de biocarburants dans les milieux ruraux du Québec*. Centre d'expertise sur les produits agroforestiers (CEPAF), Ministère des affaires municipales et des régions (MAMR), Gouvernement du Québec.
- Bio-Diésel Québec Inc. Site Internet consulté le 11 juin 2009 : www.bio-dieselquebec.ca
- Biotop terminologie médicale. *Édulcorant naturel*. Site Internet consulté en ligne le 8 juin 2009. <http://georges.dolisi.free.fr/Terminologie/E/edulcoro.htm>
- Brian L., Polagye, Kevin T. Hodgson, Philip C. Malte (2007). *An economic analysis of bio-energy options using thinning from overstocked forests*. Biomass and Bioenergy 31. 105-125.
- Brodeur, C. (2008). *Biomasse agricole : Biogaz et biocombustibles. Colloque sur les énergies solaire et la biomasse*. Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie (AQME). Disponible en ligne : [www.aqme.org/AxisDocument.aspx?id=1094&langue=fr&download=true&document=Catherine_Brodeur_\(AGECO\).pdf](http://www.aqme.org/AxisDocument.aspx?id=1094&langue=fr&download=true&document=Catherine_Brodeur_(AGECO).pdf)
- Brook, George, Kristopher Liljefors, Davis Brook et Andy Stewart (2008). *Stratégie nationale sur le chanvre industriel*. The AGRICOLA Group. Disponible en ligne : http://www.hemptrade.ca/docs/07-020-09_fr.pdf
- Bulk Transporter. Site Internet consulté en mai 2009 : <http://bulktransporter.com/management/tank-truck>

- CCI Agro Industrie (2007). *Fiche Technique Agro-Industrie #20 – Les agrosolvants ou biosolvants*. Disponible en ligne : http://veillestrategique.champagne-ardenne.cci.fr/AutoIndex_v1/veilles/fiches-techniques/Agro-Industrie%20Info/2007/20agrosolvants.pdf
- Centre de recherche de développement et de transfert technologique en acériculture (ACER, 2005). Extraction du sucre de betterave. Disponible en ligne : http://www.centreacer.qc.ca/publications/Interet/PDF/Betterave_Publique.pdf
- Chaala, A. (2007). *Fabrication de panneaux de paille denses et des produits moulés*, SEREX, rapport technique (30p.).
- Chaala, A. (2008). *Fabrication de panneaux de paille légers*, SEREX, rapport technique (22p.).
- Chaala, A. (2009). *Fabrication de matériaux de construction et de composants de meubles à partir de la biomasse agricole*. Colloque «De la production à la transformation, les bioproduits un créneau d'avenir pour le Bas-Saint-Laurent », Rivière-du-Loup.
- Chaala, A., C. Roy (2001). *Production of Bio-Coke from Charcoals and Pyrolysis Oils Obtained During Vacuum Pyrolysis of Softwood Bark Residue*. First International Congress on Biomass for Metal Production and Electricity Generation. Belo Horizonte – Minas Gerais, Brazil.
- Chey, J. (2007). *Faim dans le monde et stocks mondiaux*. Confédération nationale des syndicats d'exploitants familiaux (MODEF).
- Clément, F, M. (2008). *Millet perlé sucré : de l'éthanol et du fourrage*. Consulté en ligne, juillet 2008.
- Cooper Power Systems (2009). Site Internet consulté le 4 juin 2009. <http://www.cooperpower.com>
- D'Orangeville, L., A. Cogliastro, S. Daigle (2007). *Analyse de différentes avenues de production de peupliers hybrides en Montérégie*.
- Darmstadt, H., M. García-Pérez, A. Chaala et C. Roy (2001). *The Co-Pyrolysis Under Vacuum of Sugar Cane Bagasse and Petroleum Residue*. Properties and Potential Uses of the Char Product. Carbon. Vol. 39 (6) p.815-825.
- Department for Transport-Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO). Site Internet consulté en mai 2009 : <http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/environment/rtfo/>
- Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGEMP). *Les biocarburants en France*. Site Internet consulté en mai 2009 : <http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/biocarburants.htm>
- Ecobilan et Pricewaterhouse Coopers. (2002). *Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production des biocarburants en France*. Direction de l'Agriculture et des Bioénergies de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et Direction des Ressources Énergétiques et Minérales (DIREM).
- Ecocert Canada. *Normes et certification*. Site Internet consulté le 25 mai 2009. <http://www.ecocertcanada.com/fr/normes.html>
- ECOCERT. Site Internet consulté le 25 mai 2009. <http://www.ecocert.com>
- EduTransfer Design Associates, Haywire Creative (2009). *L'énergie renouvelable et l'énergie thermique verte*. Site Internet consulté le 27 mai 2009. <http://www.farmcentre.com/Francais/Features/ScienceInnovation/Article.aspx?id=d11a7d61-7bf8-4557-8c11-df0a092c7d82>
- Eikeland, I. et J. Elkem, Oslo. Norway (2002). Communication personnelle
- Emery Oleochemicals (2009). Site Internet consulté le 12 juin 2009. www.emeryoleo.com

- Energy Information Administration (2007). *Biofuels in the U.S. Transportation sector*. Site Internet consulté le 14 mai 2009. www.eia.doe.gov/oi/analysispaper/biomass.html
- Essential Oil University. Site Internet consulté le 11 mai 2009. <http://essentialoils.org/cart/index/1239859054/?key=1>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe a. V. (FNR). 2005. *Données de base pour les méthaniseurs à la ferme en Allemagne*. Traduit en 2007 par le Club Biogaz de l'Association technique énergie et environnement. Site internet. http://www.biogaz.atee.fr/news/get_file.php3/id/106/file/Donn%E9es_base_biogazv3.pdf
- Fédération de l'Union des producteurs agricoles de la Gaspésie – Les Îles (2004). *Chicorée sauvage*. Fiches techniques – Produits forestiers non ligneux. Disponible en ligne : <http://www.gaspesielesiles.upa.qc.ca/fhtm/pfnl/Chicorée.pdf>
- Gagnon, C. (2006). *Les poêles à granules de bois : est-ce un bon investissement?* Site Internet consulté le 21 mai 2009. <http://www.cjonquiere.qc.ca/sousmontoit/chronique56.html>
- Garcia-Perez M, P. Lappas, P. Hughes, L. Dell, A. Chaala, D. Kretschmer et C. Roy (2006). *Evaporation and Combustion Characteristics of Bio-Oils Obtained by Vacuum Pyrolysis of Wood Industry Residues*. IFRF Electronic Journal. <http://www.journal.ifrf.net/>
- Garcia-Perez, M., A. Chaala, H. Pakdel, D. Kretschmer, D. Rodrigue et C. Roy (2005). *Multiphase Structure of Bio-oils*. Energy & fuels, vol. 20, 364-375.
- Garcia-Perez, M., A. Chaala, H. Pakdel, D. Kretschmer, D. Rodrigue et C. Roy (2006). *Ageing of Bio-oils Obtained from the Vacuum Pyrolysis of Wood Industry Residues*. Energy and Fuels, vol. 20, 786-795.
- Garcia-Perez, M., A. Chaala, H. Pakdel, D. Kretschmer et C. Roy (2007a). *Characterization of Bio-oils in Chemical Families*. Biomass and Bioenergy, vol.31, 222-242.
- Garcia-Perez, M., A. Chaala, H. Pakdel, D. Kretschmer et C. Roy (2007b). *Vacuum Pyrolysis of Softwood and Hardwood Residues. Comparison between product yields and bio-oil properties*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, issue 1, p 104-116.
- Gauthier, Nicolas (2008). *Guide pratique – La culture du peuplier hybride*. Centre technologique des résidus industriels (CTRI). Disponible en ligne : http://www.ctri.qc.ca/images/news/2_guide_ligniculture_final.pdf
- Gouvernement de l'Ontario. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales. *Priorités, homologations et projets pour les pesticides à usage limité dans les betteraves potagères*. Site Internet consulté en ligne le 9 juin 2009. http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/minoruse/minoruse_redbeet.htm
- Gouvernement du Canada. *Écoénergie: La stratégie concernant les carburants renouvelables*. 24 février 2009. Site Internet consulté le 14 mai 2009.
- Gouvernement du Québec (2006). *L'énergie pour construire le Québec de demain : La stratégie énergétique du Québec 2006-2015*. Ministère des ressources naturelles et de la faune. Québec.
- Gouvernement du Québec, Ministère de l'industrie et du commerce (2007). *Extraction d'huiles essentielles*. Manuel de construction et d'opération d'usines, pages 10, 11, 12, avril.
- Green, N. (2004). *Growing energy. How biofuels can help end America's oil dependence*. Natural Resources Defense Council. Disponible en ligne : <http://www.nrdc.org/air/energy/biofuels/biofuels.pdf>
- Groleau, H., C. Côté-Beaulieu et D. Crowley (2008). *Étude d'inventaire technologique pour la conversion en biocarburant du Miscanthus Giganteus*. Écosphère. Disponible en ligne : http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Etude_d'inventaire_technologique_pour_la_conversion_en_%20bio_carburant_du_Miscanthus_Giganteus.pdf
- HITEX. Site Internet consulté le 12 mai 2009. <http://www.hitex-co2.com>

- Hydro-Québec (2^e trimestre 2009). *Plan d'action de développement durable 2009-2013*. Disponible en ligne : http://www.hydroquebec.com/publications/fr/plan_action_dd/index.html
- Innovation Énergie Environnement (IFP) (2007a). *Les biocarburants en Europe*. Disponible en ligne : http://www.ifp.fr/content/download/56044/1242136/version/3/file/IFP-Panorama07_06-Biocarburants_Europe_VF.pdf
- Innovation Énergie Environnement (IFP) (2007b). *Les biocarburants dans le monde*. Disponible en ligne : <http://www.lesechos.fr/medias/2007/0131/300137587.pdf>
- Innovation Énergie Environnement (IFP). (2007c). *Le rapport annuel 2007*. Disponible en ligne : http://www.ifp.fr/content/download/56287/1244257/version/5/file/IFP-RapportAnnuel2007_0_VF-Complete.pdf
- Institut de recherche en biologie végétale (IRVB). Université de Montréal. Disponible en ligne : http://www.afm.qc.ca/pdf-2007/IRBV06-analyse_peupliers_hyb.pdf
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST, 2005). *La substitution des solvants par le lactate d'éthyle*, juillet. Disponible en ligne : <http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PublIRSST/B-069.pdf>
- Islam, M.N. et F.N. Ani (2000). *Techno-economics of rice husk pyrolysis, conversion with catalytic treatment to produce liquid fuel*. Bioresource Technology. Volume 73. Issue 1. P. 67-75.
- Knothe, G. Derksen, J.T. P. (1999). *Recent Developments in the Synthesis of Fatty Acid Derivatives*. AOCs Press, États-Unis.
- La Maison du Chanvre. *Huile essentielle de chanvre*. Site Internet consulté le 11 mai 2009. <http://www.rueduchanvre.com/Autres/huileessentiel.htm>
- M. Gronli, M.J. Antal Jr, Y. Schenkel et R. Crehay (2004). *The Science and Technology of Charcoal Production*. Pyne Subject Group Report.
- Marchand, P., P et S. Masse (2008). *Enjeux reliés au développement et à l'application de technologies de boisement et d'agroforesterie pour la production de biomasse énergétique : résultats des groupes de consultation rencontrés au Québec et dans les Prairies*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts. Centre de foresterie des Laurentides. Disponible en ligne : http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/Marchand&Masse_2008_LAU-X-135F.pdf
- Ménétrier, J. (2008). *Le peuplier hybride au Québec : une révolution, une évolution!* Le naturaliste canadien. Volume 132, numéro 1, pages 46-54. Disponible en ligne : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/Nat-Can-132-1-46-54.pdf>
- MNRF (2008a). *Biomasse*. Site Internet consulté le 8 juin 2009. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/innovation/innovation-biomasse.jsp>
- MNRF (2008b). *Permis d'exploitation d'usine de transformation primaire du bois*. Site Internet consulté le 15 juin 2009 : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-transformation-permis.jsp>
- Nyiramana Lunianaga, M. (1991). *Stratégie de mise en marché des huiles essentielles québécoises*, Mémoire de maîtrise présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi.
- PlascoEnergy Group. Site Internet consulté en mai 2009 : www.rcl-plasma.com
- Plateforme biocarburants. Site internet consulté le 6 juin 2009 : <http://www.plateforme-biocarburants.ch/infos/eu-acteurs.php>
- R.E.A.P. Canada (1998) *Évaluation de la culture du chanvre dans la région de l'Estrie*. Disponible en ligne : http://www.reap-canada.com/online_library/agri_fibres_forestry/5%20Evaluation%20de.pdf
- Renewable Fuels Association (2009) *U.S. Cellulosic Ethanol Projects Under Development and Construction*.

- Renewable Fuels Association. *Cellulosic Ethanol*. Site Internet consulté le 14 mai 2009. <http://www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic/>
- Renewable Fuels Association. *Ethanol biorefinery locations, U.S. fuel ethanol industry biorefineries and production capacity*
- Renewable Fuels Association. *How ethanol is made*. Site Internet consulté le 14 mai 2009.
- Renewable Fuels Association. *Production capacity*. Site Internet consulté le 14 mai 2009. www.ethanolrfa.org/industry/locations/
- Renewable Fuels Association. *Statistics: Ethanol industry overview*. Dernière mise à jour le 14 mai 2009.
- Renewable Fuels Association. *U.S. Cellulosic Ethanol Projects Under Development and Construction*. Disponible en ligne : <http://www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic/documents/CellulosicMap2.09.pdf>
- Ressources naturelles Canada (2007). *Plantation d'arbres sur les terres agricoles marginales en Ontario – Peuplier hybride*. Site Internet consulté le 12 juin 2009. <http://www.scf.rncan.gc.ca/soussite/glfc-tree-planting/peuplier-hybride>
- Rioux, R. (2007). Production d'huiles essentielles biologique : nouvelles cultures et technologie de production. Revue de littérature.
- Rosentrater, K. A. (2006). *Economics and Impacts of Ethanol Manufacture*. BioCycle, volume 47, numéro 12, ABI/INFORM Global publishing, p.44-49.
- Rosilo-Calle, F. De Rezende, M.A.A. Furtado, P. et Hall, D.O. (1996). *The Charcoal Dilemma*. Intermediate Technologies Publications. London.
- Salon des entrepreneurs. Idée de création bio avec les huiles essentielles. Site Internet consulté le 13 mai 2009. <http://www.salondesentrepreneurs.com/idee-creation-bio-avec-huiles-essentielles-214.html>
- Santé Canada. *Produits de santé naturels*. Site Internet consulté le 29 mai 2009. <http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/index-fra.php>
- Sirois, J.-P. (2007). *Le point sur le développement de l'éthanol*. BioClips. Volume 10, numéro 3. 8 p.
- Wikipedia, l'encyclopédie libre. *La betterave sucrière*. Site Internet consulté en ligne le 8 juin 2009. http://fr.wikipedia.org/wiki/Betterave_%C3%A0_sucrer
- The Biomass Research and Development Technical Advisory Committee. (2007). *Roadmap for bioenergy and biobased products in the United States*. Biomass research and development initiative.
- ThyssenKrupp. Site Internet consulté en mai 2009 : www.ThyssenKrupp.com
- Turgon, M. (2001). *Profil des matières forestières, première transformation*. Huiles essentielles. Ministère des ressources naturelles
- Uslu, A., P.C. André, F.A.I.J. et P.C.A. Begman (2008). *Pre-treatment technologies and their effect on international bioenergy supply chain logistics*. Techno-economic evaluation of torrefaction, Fast pyrolysis and pelletisation. Energy 33. 1206-1223.

Annexes

Liste des annexes

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE	87
BIOÉTHANOL - FERMENTATION	87
Brève description du procédé	87
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	88
<i>Les usines existantes</i>	88
<i>Marchés déjà desservis</i>	89
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	89
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	89
<i>Investissement requis</i>	89
<i>Coûts d'opération</i>	89
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	90
<i>Rentabilité probable</i>	90
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	91
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	91
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	91
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	91
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	92
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	92
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	92
Évaluation de la valeur du produit fini	92
Filières concurrentes et complémentaires	93
HYDROLYSE ENZYMATIQUE - BIOÉTHANOL CELLULOSIQUE	94
Brève description du procédé	94
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	94
<i>Les usines existantes</i>	95
<i>Marchés déjà desservis</i>	95
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	95
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	95
<i>Investissements requis</i>	96
<i>Coûts d'opération</i>	96
<i>Coût de transport et de manutention</i>	96
<i>Rentabilité probable</i>	96
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	97
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	97
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	98
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	98
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	98
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	98
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	99
Évaluation de la valeur du produit fini	99
Filières concurrentes et complémentaires	99
TRANSESTÉRIFICATION – BIODIÉSEL.....	101
Brève description du procédé	101
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	101
<i>Les usines existantes</i>	102
<i>Marchés déjà desservis</i>	103
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	104
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	104
<i>Investissement requis</i>	104
<i>Coûts d'opération</i>	104
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	105

<i>Rentabilité probable</i>	105
<i>Enjeux – Approvisionnement</i>	105
<i>Enjeux - Eléments techniques</i>	105
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	106
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	106
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	106
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	106
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé.....	106
<i>Cultures oléagineuses</i>	107
<i>Matières organiques résiduelles végétales</i>	107
<i>Matières organiques résiduelles animales</i>	107
Évaluation de la valeur du produit fini.....	107
Filières concurrentes et complémentaires.....	108
GAZÉIFICATION - CARBURANT RENOUVELABLE ET BIOCMBUSTIBLE GAZEUX (SYNGAZ)	110
Brève description du procédé.....	110
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	110
<i>Les usines existantes</i>	110
<i>Marchés déjà desservis</i>	111
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme.....	111
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	111
<i>Investissement requis</i>	112
<i>Coûts d'opération</i>	112
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	112
<i>Rentabilité probable</i>	112
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	112
<i>Enjeux - Eléments techniques</i>	113
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	113
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	113
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	113
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	113
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé.....	114
Évaluation de la valeur du produit fini.....	115
Filières concurrentes et complémentaires.....	115
<i>Filières se livrant compétition pour les mêmes composés et matières premières</i>	115
<i>Filières complémentaires</i>	115
DENSIFICATION - BIOCMBUSTIBLE SOLIDE – GRANULES	116
Brève description du procédé.....	116
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	116
<i>Les usines existantes</i>	117
<i>Marchés déjà desservis</i>	117
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme.....	117
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	117
<i>Investissement requis</i>	118
<i>Coûts d'opération</i>	118
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	118
<i>Rentabilité probable</i>	118
<i>Enjeux – Approvisionnement</i>	118
<i>Enjeux - Eléments techniques</i>	118
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	119
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	119
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	119
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	119
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé.....	120
Évaluation de la valeur du produit fini.....	120
Filières concurrentes et complémentaires.....	121
CARBONISATION - BIOCMBUSTIBLE SOLIDE – BIOCHARBON	122

Brève description du procédé	122
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	122
<i>Les usines existantes</i>	122
<i>Marchés déjà desservis</i>	123
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	123
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	123
<i>Investissements requis</i>	124
<i>Coûts d'opération</i>	124
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	124
<i>Rentabilité probable</i>	124
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	125
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	125
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	125
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	125
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	126
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	126
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	126
Évaluation de la valeur du produit fini	126
Filières concurrentes et complémentaires	127
<i>Filières se livrant compétition pour les mêmes composés et matières premières</i>	127
<i>Filières complémentaires</i>	127
PYROLYSE - BIOCMBUSTIBLE LIQUIDE – BIOHUILE	128
Brève description du procédé	128
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	128
<i>Les usines existantes</i>	128
<i>Marchés déjà desservis</i>	129
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	129
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	129
<i>Investissements requis</i>	130
<i>Coûts d'opération</i>	130
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	130
<i>Rentabilité probable</i>	130
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	131
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	131
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	131
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	131
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	131
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	132
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	132
Évaluation de la valeur du produit fini	132
Filières concurrentes et complémentaires	132
BIOMÉTHANISATION - BIOCMBUSTIBLE GAZEUX – BIOGAZ	133
Brève description du procédé	133
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	133
<i>Les usines existantes</i>	133
<i>Marchés déjà desservis</i>	134
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	134
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	134
<i>Investissement requis</i>	135
<i>Coûts d'opération</i>	135
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	135
<i>Rentabilité probable</i>	135
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	135
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	136
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	136
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	136

<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	136
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	137
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	137
Évaluation de la valeur du produit fini	137
Filières concurrentes et complémentaires	138
MATÉRIAUX D'ORIGINE RENOUVELABLE – BIOFIBRE	139
Brève description du procédé	139
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	139
<i>Les usines existantes</i>	139
<i>Marchés déjà desservis</i>	139
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	139
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	140
<i>Investissements requis</i>	140
<i>Coûts d'opération</i>	140
<i>Coûts de transport et de manutention des produits finis</i>	140
<i>Rentabilité probable</i>	140
<i>Enjeux - Approvisionnement</i>	141
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	141
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	141
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	141
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	141
<i>Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux</i>	141
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	142
Évaluation de la valeur du produit fini	142
Filières concurrentes et complémentaires	142
<i>Filières se livrant compétition pour les mêmes composés et matières premières</i>	142
<i>Filières complémentaires</i>	142
CHIMIE VERTE – BIOLUBRIFIANT	143
Brève description du procédé	143
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	143
<i>Les usines existantes</i>	143
<i>Marchés déjà desservis</i>	143
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	144
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	144
<i>Rentabilité probable</i>	145
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	145
Évaluation de la valeur du bioproduit fini	145
Filières concurrentes et complémentaires	148
CHIMIE VERTE - BIOSOLVANT	149
Brève description du procédé	149
<i>Les usines existantes</i>	149
<i>Marchés déjà desservis</i>	149
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	149
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	149
Évaluation de la valeur du bioproduit fini	150
CHIMIE VERTE - DÉTERGENTS ET SURFACTANTS	151
Brève description du procédé	151
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	151
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	151
CHIMIE VERTE - BIOCATALYSEURS	152
Brève description du procédé	152
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	152
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	152
CHIMIE VERTE - SYNTHÈSE DE L'ACIDE AZÉLAÏQUE - ÉLÉMENTS PRÉCURSEURS	153
<i>Les usines existantes</i>	153
<i>Marchés déjà desservis</i>	153

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	153
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	153
<i>Rentabilité probable</i>	154
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	154
Évaluation de la valeur du bioproduit fini	154
Filières concurrentes et complémentaires	154
DISTILLATION - HUILES ESSENTIELLES	155
Brève description du procédé	155
<i>Rendements en bioproduits et en coproduits</i>	155
<i>Les usines existantes</i>	156
<i>Marchés déjà desservis</i>	156
Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme	156
<i>Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois</i>	156
<i>Investissement requis</i>	156
<i>Coûts d'opération</i>	156
<i>Rentabilité probable</i>	156
<i>Enjeux – Approvisionnement</i>	157
<i>Enjeux - Éléments techniques</i>	157
<i>Enjeux - Problématiques commerciales</i>	157
<i>Enjeux - Aspects réglementaires</i>	157
<i>Enjeux - Subvention et pérennité des marchés</i>	158
Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé	158
Évaluation de la valeur du bioproduit fini	158
Filières concurrentes et complémentaires	159
ANNEXE 2 : FICHES TECHNIQUES DES SOURCES DE BIOMASSE	160
Cultures amyliacées	160
<i>Avoine</i>	160
<i>Blé</i>	162
<i>Mais</i>	164
<i>Orge</i>	166
<i>Pomme de terre</i>	168
<i>Triticale</i>	170
Cultures sucrières	172
<i>Betterave à sucre</i>	172
<i>Chicorée</i>	174
<i>Millet perlé sucré et sorgho sucré</i>	176
<i>Topinambour</i>	178
Cultures lignocellulosiques	180
<i>Plantes fourragères</i>	180
<i>Panic érigé</i>	182
<i>Saule à croissance rapide</i>	184
<i>Peupliers hybrides</i>	186
<i>Chanvre industriel</i>	188
<i>Miscanthus giganteus</i>	190
Cultures oléagineuses	192
<i>Soya</i>	192
<i>Canola/Colza</i>	194
<i>Tournesol</i>	196
<i>Lin</i>	198
<i>Camelina sativa</i>	201
Matières organiques résiduelles végétales	203
<i>Paille de céréales</i>	203
<i>Résidus forestiers</i>	207
<i>Résidus du secteur de la transformation agroalimentaire</i>	208
Matières organiques résiduelles animales	209
<i>Déjections</i>	209

Annexe 1 : Description détaillée des procédés de transformation de la biomasse

BIOÉTHANOL - FERMENTATION

Brève description du procédé

L'éthanol est l'alcool le plus connu et le plus utilisé puisqu'on le retrouve couramment dans les boissons alcoolisées. L'éthanol est produit à partir de diverses sources de biomasse par la fermentation des sucres contenus dans la biomasse végétale riche en sucre ou en amidon. Il est uniquement question dans les prochaines lignes des technologies de ce type de production d'éthanol, dit de première génération.

En Amérique du Nord, c'est la production d'éthanol à partir de grains de maïs ou de céréales qui domine l'industrie. Deux types de technologie peuvent être utilisés à cette fin : le broyage à sec et le broyage humide. Dans le cas du broyage humide, le maïs subit une séparation préliminaire de l'amidon et des protéines par un trempage dans un mélange d'eau et de SO₂ avant d'être moulu pour en libérer le germe. L'amidon peut ensuite être converti en éthanol ou en gluten selon l'usage envisagé. Ce procédé offre un rendement en éthanol légèrement plus élevé et permet la production complémentaire d'huile de maïs. Toutefois, le procédé est plus coûteux que la production par broyage à sec et le SO₂ entraîne des risques supplémentaires.

La production par broyage à sec est largement dominante au Canada. Dans le broyage à sec, le grain est réduit en farine avant d'être cuit dans l'eau en présence d'enzymes qui hydrolyseront l'amidon en glucose. Ce dernier pourra par la suite être fermenté par des levures pour produire de l'éthanol. La « bière » obtenue à la suite de la fermentation devra être distillée pour purifier l'éthanol. Le procédé génère du CO₂ et des drèches de distilleries pouvant être utilisées pour l'alimentation animale.

Les différentes étapes du procédé se résument comme suit :

1. Broyage : broyage des grains en une fine farine à l'aide d'un broyeur à marteaux.
2. Liquéfaction : ajout d'eau et d'alpha-amylase à la farine. Le mélange est porté à haute température (120 à 150°C) pour la pasteurisation et la liquéfaction de l'amidon du grain.
3. Saccharification : après le refroidissement, ajout de glucamylase assurant la conversion de l'amidon en glucose.
4. Fermentation : ajout de levures entraînant la fermentation des sucres en éthanol et la production de CO₂. Cette réaction peut se dérouler en continu ou en discontinue, pendant 48 heures.
5. Distillation : la « bière » ainsi obtenue contient entre 8 et 15 % d'alcool devant être distillée pour obtenir de l'éthanol pur à 96 %.
6. Déshydratation : Afin d'être commercialisé comme carburant, l'éthanol doit être déshydraté à l'aide d'un tamis moléculaire. De nouvelles technologies à base de membranes sont également en développement pour cette étape, dont celle de Vaperma, au Québec. L'éthanol « anhydre » ainsi obtenu est additionné d'un dénaturant (2 à 5 %) pour éviter qu'il se retrouve sur le marché de l'alimentation humaine.

Rendements en bioproduits et en coproduits

La betterave sucrière, couramment cultivée en Europe, et la canne à sucre, utilisée dans les pays tropicaux comme le Brésil, sont les plantes présentant le plus haut rendement en éthanol à l'hectare. En Amérique du Nord, toutefois, ce sont plutôt les céréales comme le maïs et le blé qui sont utilisées. Le Tableau 14 présente le rendement approximatif en éthanol des principales biomasses utilisées.

Le millet perlé sucré et le sorgho sucré sont actuellement à l'étude pour la conversion de leur sève en éthanol par fermentation. Des essais récents menés en Outaouais sur le millet perlé sucré ont démontré qu'il est possible d'obtenir jusqu'à 80 t/ha de biomasse humide avec un taux de sucre avoisinant les 20 %. Avec de tels rendements, il serait possible d'extraire jusqu'à 40 t/ha de sève à partir desquelles on pourrait produire 3 500 litres d'éthanol.

La fabrication d'éthanol par broyage à sec produit deux coproduits importants : les drêches de distilleries et le CO₂. Les drêches trouvent un excellent débouché en alimentation animale de par leur teneur élevée en protéines (30 à 35 %) et en huile (5 à 10 %). Elles contiennent également les fibres du grain et une faible partie de l'amidon initial ce qui en fait un aliment de choix. Le CO₂ purifié trouve preneur dans la fabrication de glace sèche et de boissons gazeuses ainsi que dans la réfrigération rapide des aliments.

En moyenne, il est possible de tirer d'une tonne de grain entre 350 et 450 litres d'éthanol, et entre 300 et 325 kg de drêches et 350 kg de CO₂.

TABLEAU 14 – RENDEMENT APPROXIMATIF DE L'ÉTHANOL EN FONCTION DE LA MATIÈRE PREMIÈRE

Culture	Rendement (litres/hectare)
Canne à sucre	6 000
Betterave	5 000
Maïs-grain	3 000
Blé	2 500
Orge	1 000

Source : WorldWatch Institute, 2006

Les usines existantes

En janvier 2009, les États-Unis comptaient sur leur territoire 170 usines de production d'éthanol en opération et 24 usines en construction pour une capacité totale de production de près de 48 milliards de litres. La grande majorité des usines, utilisant le maïs comme matière première sont essentiellement situées au Dakota, au Nebraska, au Kansas, au Minnesota, en Iowa, au Wisconsin et en Illinois.

En 2008, on dénombrait au Canada 15 usines en opération, dont près de la moitié en Ontario, le reste étant réparti dans les provinces de l'Ouest, pour une capacité de production annuelle d'environ 1,6 milliard de litres. Le Québec compte une usine située à Varennes, propriété de GreenField Ethanol, le plus important producteur d'éthanol au Canada.

Marchés déjà desservis

L'usine de Varennes, avec une capacité initiale de production de 120 millions de litres qui a augmenté à 145 millions de litres, pourrait combler près de 30 % du marché potentiel québécois considérant l'objectif fédéral de 5 % d'éthanol dans l'essence à l'automne 2010. Cette production nécessitera par ailleurs l'utilisation d'environ 363 000 tonnes de maïs ce qui représente près de 11,5 % de la production annuelle de 2008 (3 150 000 tonnes). Pour répondre à l'objectif fédéral de substitution de 5 % de l'essence par le bioéthanol, qui correspond à environ 420 millions de litres pour le marché québécois, il faudrait donc y consacrer environ près du tiers de la production québécoise de maïs.

Actuellement, la totalité de la production d'éthanol de l'usine de Varennes est destinée à Petro-Canada qui le mélange à l'essence et le distribue dans ses stations-services de la région métropolitaine de Montréal. La pétrolière Sonic, une division de La Coop fédérée et actuellement la plus importante pétrolière indépendante au Québec, distribue également de l'essence-éthanol dans une centaine de ses stations-services. L'éthanol distribué par Sonic est importé par Norcan, un terminal marin en partie propriété de Sonic situé à Montréal, où le mélange essence-éthanol est effectué.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Les technologies de production d'éthanol dites de « première génération » ont atteint une échelle de production industrielle avec des milliers d'usines à travers le monde. La maturité de la technologie n'est donc pas un frein au développement de l'industrie de l'éthanol au Québec. De plus, GreenField Éthanol a déjà démontré l'adaptabilité de cette technologie au Québec par l'implantation de son usine de Varennes.

Investissement requis

Selon le document « *A Guide for Evaluating the Requirements of Ethanol Plants* » produit par *The Clean Fuels Development Coalition* et *The Nebraska Ethanol Board* en collaboration avec le USDA (2006), le coût en capital d'une usine d'éthanol de première génération varierait de 1,25 à 2 \$ US le gallon, le coût en capital tendant à diminuer avec l'augmentation de la production (présence d'économies d'échelle). Par exemple, une usine d'une capacité de production de 40 millions de gallons par année peut représenter un investissement de près de 80 millions de \$ US alors qu'une usine équivalente, mais d'une capacité de 100 millions de gallons, aurait plutôt un coût de capital approximatif de 125 millions de \$ US.

Coûts d'opération

Les coûts d'opération des usines d'éthanol varient principalement en fonction du procédé utilisé, du coût de l'énergie et des carburants ainsi que du coût des matières premières utilisées. Le prix de vente des sous-produits affecte également le prix net des matières premières. Selon l'étude *The economic feasibility of ethanol production from sugar in the United States* produite en 2006 par le USDA, les coûts de production de l'éthanol aux États-Unis varieraient de 1,03 à 3,97 \$ US/gallon selon la matière première et le procédé utilisé. Le Tableau 15 présente un résumé de cette étude.

TABLEAU 15 – RÉSUMÉ DES COÛTS DE PRODUCTION D'ÉTHANOL
(US \$/GALLON)¹

Éléments de coûts	Matière première ²	Coût de transformation	Coût total
À base de maïs par voie humide aux États-Unis	0,40	0,63	1,03
À base de maïs par voie sèche aux États-Unis	0,53	0,52	1,05
À base de canne à sucre aux États-Unis	1,48	0,92	2,40
À base de betterave à sucre aux États-Unis	1,58	0,77	2,35
À base de mélasse aux États-Unis ³	0,91	0,36	1,27
À base de sucre brut aux États-Unis ³	3,12	0,36	3,48
À base de sucre raffiné aux États-Unis ³	3,61	0,36	3,97
À base de canne à sucre au Brésil ⁴	0,30	0,51	0,81
À base de betterave à sucre en Union Européenne ⁴	0,97	1,92	2,89

¹ Exclut les coûts en capitaux

² Les coûts du maïs sont des coûts nets (prennent en compte la valeur des coproduits), tandis que les coûts de la canne et de la betterave à sucre sont des coûts bruts (ne prennent pas en compte la valeur des coproduits)

³ Exclut les coûts de transport

⁴ Moyenne des estimés publiés dans la littérature

Source : USDA, 2006

Coûts de transport et de manutention des produits finis

Les grains traditionnellement utilisés pour la production d'éthanol de première génération sont beaucoup plus denses et faciles à transporter que ne l'est la matière cellulosique utilisée dans le cas de l'éthanol de seconde génération. L'approvisionnement des usines en grains n'est donc pas problématique d'autant plus que le marché des grains est bien établi au Québec. Toutefois, la production d'éthanol par fermentation de la sève de millet ou de sorgho sucré risque d'être plus complexe. Il faudra organiser la récolte, le transport et la conservation de la sève puisque cette production est nouvelle et ne peut s'allier à un réseau déjà existant. Peu de données sont disponibles à ce sujet en raison du caractère émergent de la filière.

Le transport et la manutention de l'éthanol produit ne posent pas de problème particulier puisque ces opérations sont régies par les mêmes règles et concepts que l'essence conventionnelle. Une fois le réseau de distribution mis en place, l'éthanol pourra donc suivre le même parcours que l'essence et être acheminé vers les mêmes stations-services.

Rentabilité probable

La rentabilité est directement influencée par le prix du maïs-grain sur le marché, représentant près de 75 % du coût de production, par le prix de vente de l'éthanol, directement lié au prix de l'essence et par la valeur des coproduits sur le marché. En vertu de ces paramètres, il devient de plus en plus difficile de rentabiliser les unités de production. En 2006, le prix de l'éthanol aux États-Unis est demeuré supérieur à celui de l'essence, même après subvention et malgré un prix du baril de pétrole élevé. En mai 2009, selon le *Renewable Fuel Association*, plus de 25 usines d'éthanol étaient en arrêt de production aux États-Unis. Il est fort probable que la baisse de la rentabilité serait la cause de cette situation.

Tout porte à croire qu'avec l'augmentation croissante de la demande pour le maïs, les prix des grains ne redescendront pas de sitôt. De plus, avec l'augmentation de la production d'éthanol, les coproduits seront disponibles en quantité de plus en plus importantes et risquent de voir leur prix diminuer sur le marché. La rentabilité des usines d'éthanol de première génération s'annonce donc précaire. La filière éthanol-canne à sucre du Brésil est en compétition sur le marché québécois malgré la taxe canadienne sur l'importation qui est de l'ordre de 4,92 cents par litre (à l'exception des pays membres de l'ALENA).

Enjeux - Approvisionnement

La production d'éthanol représente un nouveau débouché pour les producteurs de grandes cultures qui y trouve un marché généralement plus lucratif ainsi que des contrats garantis.

Aux États-Unis, près de 40 % de la production de maïs sera nécessaire pour fournir à pleine capacité la totalité des usines déjà en place. Il est donc évident que l'approvisionnement en maïs risque de devenir limitant avec l'accroissement de la production d'éthanol. En effet, l'augmentation des superficies en culture est limitée et il est inimaginable que la totalité des grains produits soient destinés à l'éthanol.

La situation est la même au Québec où la production actuelle de la seule usine d'éthanol nécessite déjà près de 11 % de la production et où l'atteinte des objectifs fédéraux pourrait représenter plus du tiers de la production annuelle. La totalité de la production actuelle de maïs-grain québécois suffirait à peine à combler 20 % de nos besoins en essence. Il est donc évident qu'au Québec également, l'approvisionnement en grain deviendra un élément limitant du développement de cette filière.

Enjeux - Éléments techniques

La production d'éthanol à partir de plantes sucrières ou amidonnées est éprouvée depuis plusieurs années et ne pose pas de problèmes techniques particuliers. La production et le transport de ces matières premières sont également bien connus et organisés.

Toutefois, des enjeux restent à relever dans le cas du millet perlé sucré et du sorgho sucré. Bien que la fermentation de la sève de ces plantes en éthanol soit sensiblement la même que dans le cas de la betterave ou de la canne à sucre, la production, l'extraction et la conservation de la sève posent encore des défis. En effet, ces plantes sont actuellement à l'étude et l'équipement d'extraction et la conservation à long terme du sucre doit être perfectionné.

Enjeux - Problématiques commerciales

Les prix élevés du maïs, provoqués par la forte demande, encouragent plusieurs producteurs à s'engager dans cette production au détriment des autres grains (blé, orge, avoine, canola, soya), qui voient ainsi leur prix s'élever par effet de rareté sur le marché. Bien que cet effet soit positif pour les producteurs de grandes cultures, il en est tout autrement pour le reste du secteur agricole.

En effet, les productions animales voient leur coût de production s'accroître en raison de la hausse du coût de l'alimentation. Le prix des terres est également en expansion vu la demande accrue et la valeur ajoutée des grains. Le consommateur finira également par en subir le contrecoup puisque le prix des denrées alimentaires, tant à base de céréales que les viandes, devrait augmenter.

Finalement, il est nécessaire de se questionner sur l'acceptabilité sociale du développement d'une industrie basée sur une denrée traditionnellement destinée à l'alimentation qui se retrouve détournée vers la production énergétique.

Enjeux - Aspects réglementaires

Une demande de certificat d'autorisation devra être déposée auprès du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) avant de procéder à la mise en place d'une usine de production d'éthanol. Divers règlements pourront aussi être appliqués en fonction des équipements et du site retenu, du type d'émissions, de l'entreposage, de la distribution et de l'application faite de l'éthanol.

La réglementation courante en termes de production, transport et commercialisation de carburant s'appliquera à la production d'éthanol.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Le Canada mettait en place, en 2008, sa Stratégie écoÉNERGIE dont les mesures se résument comme suit :

- Depuis le 1^{er} avril 2008, et au cours des trois premières années, des taux incitatifs à la production d'un maximum de 10 ¢/l pour les carburants renouvelables de remplacement à l'essence. Les taux maximums diminueront après trois ans pour atteindre 4 ¢/l pour le bioéthanol d'ici 2017.
- Une enveloppe budgétaire de 500 millions de dollars pour le développement des technologies de seconde génération.
- Une réglementation favorisant visant à faire passer le pourcentage moyen de carburant renouvelable dans l'essence à 5 % d'ici l'automne 2010.

En avril 2007, le gouvernement fédéral lançait le programme « Initiative pour un investissement écoagricole dans les biocarburants » qui vise à accorder une aide financière pour les producteurs agricoles souhaitant construire ou agrandir une installation de biocarburants. Le gouvernement québécois, face à la controverse soulevée quant au bilan énergétique et à l'impact environnemental global de l'éthanol mais, a préféré, quant à lui, renoncer au développement de cette industrie et concentre son énergie au développement de la filière cellulosique. Au Québec, la stratégie énergétique québécoise 2006-2015, bien qu'elle soutienne le développement de l'éthanol-carburant et la mise au point d'une filière de production québécoise, indique qu'il serait à la fois plus rentable économiquement et plus acceptable sur le plan environnemental de choisir la filière cellulosique et cela même si bien des choses restent à développer au plan technologique. Le gouvernement entend privilégier, à cet effet, la valorisation des résidus forestiers et agricoles de même que des déchets urbains.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

La préoccupation environnementale est souvent mise en avant lorsqu'il est question de biocarburants. Il est intéressant de noter que cet argument a été mis de l'avant dans le développement de l'industrie de l'éthanol. L'avantage environnemental de l'éthanol par rapport à l'essence est cependant maintenant remis en question par de nombreux chercheurs et organismes. En effet, le bilan énergétique de l'éthanol qui serait, selon certains, nul voire même négatif est controversé. Il en est de même en matière de réduction des GES où l'avantage de l'éthanol n'est peut-être pas aussi important qu'on le pensait. L'impact de l'expansion de la monoculture de maïs sur la dégradation des sols et de l'eau ainsi que sur la surutilisation de pesticides et d'engrais est également un élément dont on doit tenir compte dans l'évaluation de cette industrie.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Deux principaux types de plantes peuvent être utilisés pour sa fabrication soit la biomasse riche en sucre (canne à sucre, millet perlé et sorgho sucré, betterave sucrière, etc.) et la biomasse riche en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.). Toutefois, des enjeux d'acceptabilité sociale restreignent l'utilisation de grains alimentaires pour la production de biocarburant.

Évaluation de la valeur du produit fini

L'éthanol ne peut être considéré comme un produit à haute valeur ajoutée puisque son prix suit directement celui du pétrole qui est, somme toute, un bien de consommation courant et relativement peu dispendieux.

Filières concurrentes et complémentaires

Les matières premières actuellement utilisées pour produire l'éthanol de première génération, dont le maïs, sont majoritairement destinées à l'alimentation animale et humaine. Afin de minimiser la compétition entre les filières alimentaires et industrielles, il est donc souhaitable d'explorer d'autres types de matières premières, notamment la biomasse riche en sucre telle que le millet perlé sucré et le sorgho sucré ou la biomasse riche en matières lignocellulosiques (dont l'utilisation est documentée dans la prochaine section).

La filière éthanol-canne à sucre du Brésil est en compétition sur le marché québécois malgré la taxe canadienne sur l'importation qui est de l'ordre de 4,92 cents par litre (à l'exception des pays membres de l'ALENA).

HYDROLYSE ENZYMATIQUE - BIOÉTHANOL CELLULOSIQUE

Brève description du procédé

Tel que mentionné, le bioéthanol est traditionnellement produit par la fermentation des sucres fermentescibles contenus dans la biomasse végétale riche en sucre ou en amidon. Toutefois, la production d'énergie à partir de biomasse destinée à l'alimentation soulève des questionnements et des enjeux de nature éthique et économique majeurs. Ces enjeux incitent donc à développer de nouveaux modes de production de biocarburant à partir d'autres matières premières, dont la biomasse riche en cellulose (résidus agricoles et forestiers, cultures énergétiques, etc.). Il est uniquement question dans les prochaines lignes des technologies de production d'éthanol de seconde génération ou éthanol cellulosique.

Les sucres complexes non fermentescibles contenus dans la matière lignocellulosique doivent être préalablement fragmentés avant de pouvoir être fermentés par les micro-organismes. En effet, la biomasse cellulosique est composée de chaînes de cellulose (polymère de sucres à 6 carbones), liées entre elles par des chaînes d'hémicellulose (polymères de sucres à 5 carbones) et finalement retenues par la lignine qui confère à la plante structure et rigidité. Pour pouvoir être fermentées en éthanol par les micro-organismes, la cellulose et l'hémicellulose doivent d'abord être libérées de la lignine et par la suite hydrolysées en sucres simples. La fragmentation des sucres peut être réalisée par hydrolyse enzymatique ou par hydrolyse acide. L'hydrolyse enzymatique est le procédé le plus couramment utilisé et fait intervenir un ensemble de cellulase capable de scinder la matière cellulosique en sucres simples. Cette étape est actuellement la plus contraignante pour le développement des technologies de deuxième génération étant donné les coûts élevés qui y sont associés.

Afin de faciliter l'activité hydrolytique, la matière première subit un prétraitement mécanique, généralement par un procédé de défibrage à explosion de vapeur, permettant d'accroître la surface fibreuse exposée aux enzymes ou à l'acide. Cette étape est essentielle pour assurer l'efficacité de l'hydrolyse et réduire les coûts du procédé.

Une fois les sucres complexes hydrolysés en sucres simples, ceux-ci peuvent être fermentés pour produire de l'éthanol selon le même procédé que celui utilisé pour les autres types de biomasse riche en sucre. L'éthanol obtenu à partir des différents types de biomasse est également identique, seul le procédé diffère.

Pour le moment, les différentes technologies de production d'éthanol cellulosique en sont au stade de la recherche et développement. Ces technologies sont présentement la propriété des compagnies qui les développent et peu d'informations techniques et économiques sont donc disponibles à l'heure actuelle.

Rendements en bioproduits et en coproduits

Selon le USDA (*United States Department of Agriculture*), le rendement en éthanol de la matière cellulosique se situerait entre 265 et 300 litres/tonne comparativement à 370 litres/tonne pour le maïs-grain (Collins, 2006). Toutefois, selon le *Natural Resources Defense Council*, l'optimisation des procédés d'hydrolyse et de fermentation pourrait permettre d'augmenter de manière substantielle les rendements jusqu'à 400 litres/tonne.

La production d'éthanol cellulosique génère deux principaux coproduits, soit la lignine et le CO₂. La quantité de lignine varie d'une biomasse à l'autre et influence forcément le rendement en éthanol par la diminution du contenu en sucre. Elle atteint sa teneur maximale dans les résidus forestiers de conifères. Le CO₂ trouve preneur, une fois purifié, dans la fabrication de glace sèche et de boissons gazeuses, ainsi que dans la réfrigération rapide des aliments. La lignine, quant à elle, peut être utilisée pour produire l'énergie nécessaire au procédé par combustion ou cogénération. Elle peut également servir à la synthèse de divers produits chimiques, dont des agents liants utilisés dans la fabrication de panneaux particules.

Les usines existantes

Selon le Renewable Fuel Association, 26 projets de production d'éthanol par hydrolyse enzymatique sont actuellement en cours de construction ou de mise en opération aux États-Unis.

Ces projets sont pour la grande majorité des projets de recherche et développement de compagnies déjà implantées dans le domaine de l'éthanol mais et présentent une capacité de production d'éthanol cellulosique assez faible, étant encore au stade pilote.

Le Canada ne compte qu'une seule usine de production d'éthanol cellulosique en opération, située dans la région d'Ottawa et propriété de la compagnie Iogen. La capacité de production de cette usine de démonstration s'élève à 2,5 millions de litres d'éthanol par an et utilise des pailles de céréales comme matières premières. La compagnie canadienne Lignol, située à Vancouver, est également sur le point de se lancer dans la production d'éthanol cellulosique avec la mise en opération prochaine de son usine pilote d'une capacité de 100 000 litres par an.

Le Québec, quant à lui, compte une usine de démonstration d'éthanol cellulosique par hydrolyse enzymatique en phase de construction. Ce projet est soutenu par le gouvernement du Québec et la Chaire de recherche industrielle en éthanol cellulosique de l'Université de Sherbrooke (Renaud, 2007).

Marchés déjà desservis

Afin d'atteindre l'exigence nationale moyenne de 5 % d'éthanol dans l'essence à partir de 2010, le Québec peut donc, s'il le désire, multiplier par trois sa production. Cela représente environ 280 millions de litres supplémentaires qui sont loin d'être comblés par les projets actuellement en développement.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Contrairement aux technologies de production d'éthanol à partir de maïs-grain, les technologies de deuxième génération sont beaucoup moins avancées et nécessiteront encore plusieurs années de recherche et de développement avant d'atteindre la maturité commerciale.

Lors du quatrième sommet de l'Association canadienne pour les énergies renouvelables tenu à Québec en 2007, M. Dave Vander Griend, président d'ICM, révélait que l'application commerciale des technologies de seconde génération ne devrait se faire que d'ici 8 à 10 ans (Coulibaly, 2007). La disponibilité, la logistique d'approvisionnement et la qualité fluctuante des intrants constituent également un problème de taille à résoudre.

Les gouvernements canadiens et québécois travaillent actuellement de concert pour soutenir le développement des technologies de deuxième génération. De plus, les quantités de matières lignocellulosiques générées par les industries agricoles et forestières du pays et pouvant répondre au besoin de la production d'éthanol cellulosique, sont importantes. Lorsqu'au point, ces technologies devraient donc pouvoir s'adapter facilement au contexte québécois. Il sera toutefois primordial de développer des modèles efficaces d'approvisionnement des usines compte tenu de la dispersion et de la variabilité de la matière première sur le territoire. À cet effet, M. Esteban Chornet de la *Chaire de recherche industrielle en éthanol cellulosique* propose un modèle d'usines à petite échelle qui pourraient traiter entre 100 000 et 200 000 tonnes par année. Réparties dans différentes régions du Québec, ces usines pourraient être autosuffisantes en s'approvisionnant dans un rayon de 70 à 80 km (Mesly, 2008).

Investissements requis

Les investissements requis pour une usine de production d'éthanol cellulosique par hydrolyse enzymatique varient selon la technologie retenue et la capacité de production. Les technologies étant encore au stade pilote, peu d'informations économiques sont disponibles. Selon M. Dave Vander Griend d'ICM, les investissements seraient de 3 à 6 fois plus élevés pour une unité de production d'éthanol de deuxième génération que dans le cas de l'éthanol maïs (Coulibaly, 2007). Selon le USDA, les coûts en capitaux pour construire une usine varieraient de 0,33 à 0,40 \$ US/l dans le cas de l'éthanol maïs et de 1,14 à 1,45 \$ US/l pour l'éthanol cellulosique (Collins, 2006).

Coûts d'opération

À l'heure actuelle, les coûts de production de l'éthanol cellulosique par hydrolyse enzymatique sont supérieurs à ceux de l'éthanol maïs, les coûts importants associés à la phase d'hydrolyse en étant en bonne partie responsable. Selon M. Esteban Chornet, l'éthanol qui sortira des premières usines québécoises de seconde génération devra revenir à peu près au même coût que l'éthanol maïs soit environ 0,40 \$/l (Mesly, 2008). Cependant, une fois le procédé mieux maîtrisé et les conditions d'hydrolyse et de fermentation optimisées, les coûts de production pourraient être de 40 à 50 % inférieurs à ceux de l'éthanol maïs.

Coût de transport et de manutention

La problématique du transport dans le cas de l'éthanol cellulosique se pose surtout au niveau de l'approvisionnement des usines en matières premières. En effet, les résidus cellulosiques présentent une faible densité par rapport aux grains et sont dispersés sur le territoire, ce qui en augmente considérablement les coûts de transport.

Le transport et la manutention de l'éthanol ne posent pas de problème particulier puisque régis par les mêmes règlements que l'essence conventionnelle. Une fois le réseau de distribution mis en place, l'éthanol pourra donc suivre le même parcours que l'essence et être acheminé vers les mêmes stations-services.

Rentabilité probable

Deux enjeux majeurs se dressent face à la rentabilité des technologies de production d'éthanol cellulosique. En premier lieu, les technologies de prétraitement, d'hydrolyse et de fermentation devront être optimisées afin de permettre une extraction et une fermentation maximale des sucres permettant de tirer le meilleur rendement en éthanol possible. Le développement de bactéries, de levures et d'enzymes plus efficaces permettra de réduire le temps de traitement et par le fait même les coûts de production.

En deuxième lieu, la logistique de transport devra être résolue afin de permettre un approvisionnement constant des usines en matières premières à un prix concurrentiel malgré la dispersion des résidus sur le territoire. La rentabilité de ces technologies ne pourra donc pas être assurée tant qu'un avancement technologique ne sera pas effectué.

Le Tableau 16 tiré d'une présentation du Dr. Keith Collins du USDA compare certains coûts reliés à la production d'éthanol cellulosique par voie enzymatique et d'éthanol maïs.

TABLEAU 16 – COÛTS DE PRODUCTION DE L'ÉTHANOL MAÏS ET CELLULOSIQUE PAR VOIE ENZYMATIQUE

	MAÏS	CELLULOSIQUE
Coût en capitaux	0,33 à 0,40 \$ US/l	1,14 à 1,45 \$ US/l
Rendement en éthanol	371 l/t	265 à 303 l/t
Procédé de conversion	Simple	Complexe
Coûts des enzymes	0,01 \$ US/l	0,08 à 0,13 \$ US/l
Coûts de transport	Faible	Élevé

Source : Collins, 2006

Enjeux - Approvisionnement

Le gouvernement du Québec, dans sa stratégie énergétique 2006-2015, place la problématique de l'approvisionnement des usines en tête de liste des enjeux à résoudre pour favoriser le développement de la filière de l'éthanol cellulosique au Québec. Il sera en effet essentiel d'identifier les matières premières potentielles ainsi qu'à quel prix et selon quelles modalités elles sont disponibles afin de permettre un approvisionnement stable et concurrentiel. À l'heure actuelle, les infrastructures de transport et de stockage ainsi que les pratiques agricoles et forestières nécessaires ne sont pas en place.

Encore selon la stratégie énergétique du Québec, les ressources théoriques disponibles sont considérables. À elle seule, la biomasse résiduelle forestière issue des parterres de coupe et de bois non commercialisable est évaluée à 5 millions de tonnes annuellement ce qui peut représenter jusqu'à 1,6 milliard de litres d'éthanol. Les matières résiduelles cellulosiques urbaines triées, telles que des résidus de bois de démolition, le papier ou le carton, représentent également une source abondante de matière première valorisable en éthanol. Il faudra toutefois trouver les moyens pour récolter, transporter et stocker ces matières à un prix concurrentiel. À cet effet, le gouvernement a mis en place dans le cadre de la stratégie énergétique un comité de travail responsable de résoudre cet enjeu.

Une des solutions envisagées pour assurer l'approvisionnement des usines est la production agricole de cultures dédiées lignocellulosiques. Malheureusement, la plupart de ces cultures sont également au stade d'évaluation et ne font pas partie des pratiques agricoles courantes. De plus, certaines nécessitent plusieurs années d'implantation avant d'être productives ce qui représente une charge importante pour le producteur. Il serait essentiel que le secteur agricole québécois travaille à l'implantation et au développement de ces cultures pour pouvoir répondre à la demande lorsque les technologies seront prêtes. Il est toutefois difficile de convaincre les producteurs agricoles de se lancer dans une telle entreprise en l'absence de débouchés sûrs et rentables, d'autant plus que ces productions ne sont pas couvertes par le programme d'assurance récolte. Toutefois, les cultures dédiées sont admissibles aux programmes Agri-stabilité et Agri-investissement et, à ce titre, seraient vraisemblablement admissibles au nouveau programme universel de type compte d'épargne dont il est question dans les orientations gouvernementales 2010-2014 concernant La Financière agricole.

Enjeux - Éléments techniques

Tel que mentionné précédemment, les technologies de deuxième génération sont encore au stade de la recherche et du développement. Il est donc primordial que les gouvernements en fassent leur priorité et soutiennent l'industrie et les institutions de recherche dans l'avancement technologique de ces procédés pour voir cette filière émerger.

Enjeux - Problématiques commerciales

En plus des enjeux d'approvisionnement en matière première, il faudra penser au développement de la filière de distribution. Bien que l'éthanol puisse être commercialisé par les mêmes voies que l'essence, il faudra veiller à coordonner l'ensemble du réseau commercial avant de se lancer dans une production à grande échelle. À cet effet, le rôle de l'usine de Varennes est important puisqu'elle permet notamment d'établir des modes de distribution de ce nouveau carburant.

Enjeux - Aspects réglementaires

Une demande de certificat d'autorisation devra être déposée auprès du MDDEP avant de procéder à la mise en place d'une unité de production d'éthanol, car il y aura des émissions dans l'environnement. Divers règlements pourront être appliqués en fonction des équipements et du site retenu, du type d'émissions, de l'entreposage, de la distribution et de l'application faite de l'éthanol.

La réglementation courante en termes de production, transport et commercialisation de carburant s'applique à la production d'éthanol.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Le gouvernement américain entend soutenir le développement de la filière de l'éthanol cellulosique par la mise en place de programmes de subventions pour les bioraffineries.

D'ici 2011, la construction de 6 usines commerciales de production d'éthanol utilisant des résidus forestiers et agricoles ainsi que des cultures énergétiques sera subventionnée à hauteur de 40 % pour un investissement gouvernemental total de 385 millions \$. Par ailleurs, 4 usines pilotes de procédés en développement seront financées, d'ici 2010, à hauteur de 114 millions \$.

Le programme écoÉNERGIE met en place diverses mesures dont un incitatif à la production de l'usine, une aide financière pour les producteurs agricoles souhaitant construire ou agrandir une installation destinée à la production de biocarburants ainsi qu'un investissement de 500 millions de dollars dans le développement des technologies de seconde génération.

Le gouvernement québécois, face à la controverse soulevée quant au bilan énergétique et à l'impact environnemental global de l'éthanol mais, a préféré renoncer à l'expansion de cette industrie et concentrer ses efforts au développement de la filière cellulosique. La stratégie énergétique québécoise 2006-2015, bien qu'elle soutienne le développement de l'éthanol-carburant et la mise au point d'une filière de production québécoise, mentionne qu'il serait à la fois plus rentable économiquement et plus acceptable sur le plan environnemental de choisir la filière cellulosique et cela même s'il reste à fournir des efforts au plan technologique. Le gouvernement entend privilégier à cet effet la mise en valeur des résidus forestiers et agricoles de même que des déchets urbains.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Selon les résultats disponibles à ce jour, la production d'éthanol cellulosique aurait un impact environnemental moindre sur la qualité des sols et des eaux souterraines et de surface que l'éthanol produit à partir de maïs. Selon Ressources naturelles Canada (2009b), la réduction des émissions de GES à la suite de l'utilisation d'éthanol cellulosique (6 à 8 % pour un mélange E10) serait également supérieure à celle obtenue par l'utilisation d'éthanol maïs (3 à 4 % pour un mélange E10). Cette différence s'expliquant principalement par l'économie d'énergie réalisée lors de la culture des plantes. Ces résultats sont toutefois controversés et ne font pas toujours l'unanimité. En effet, lorsque le cycle de vie complet du produit est analysé, l'impact environnemental de l'éthanol cellulosique n'est peut-être pas si positif. La difficulté à hydrolyser la cellulose et le besoin de distillation plus important occasionné par l'obtention d'un mélange plus dilué d'éthanol entraînent en effet des dépenses énergétiques importantes.

L'optimisation des procédés devrait toutefois permettre d'en améliorer le bilan énergétique et d'en diminuer du même coup l'impact environnemental.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Différentes sources de biomasse peuvent servir à la production d'éthanol cellulosique. Tant les résidus agricoles (pailles de céréales et de maïs, fourrages, etc.), forestiers (parterre de coupe, bois impropre à la transformation, etc.) qu'industriels (résidus de meunerie, copeaux, bran de scie, papiers et cartons, etc.) peuvent être valorisés. Il est également possible de produire des cultures dédiées à la production énergétique telles que les plantes énergétiques (panic érigé, miscanthus, alpiste roseau, etc.) et les plantes ligneuses à courte rotation (saule, peuplier hybride, etc.).

Les cultures dédiées à la production énergétique doivent présenter une croissance rapide, un haut rendement en biomasse à l'hectare et une valeur énergétique élevée pour être intéressantes pour l'industrie. Le rendement en éthanol de la plante est directement influencé par son contenu en cellulose. Plus ce dernier est élevé et plus le rendement sera important. Au contraire, un taux élevé de lignine et d'hémicellulose, tel que retrouvé dans les résidus de conifères, limite la production d'éthanol.

La production de cultures énergétiques peut s'avérer une option intéressante pour le secteur agricole québécois puisque celles-ci nécessitent peu d'entretien par rapport aux cultures conventionnelles et pourraient permettre de valoriser certaines terres plus marginales. De plus, lorsque les débouchés commerciaux pour ces cultures seront en place, ces productions pourront permettre aux producteurs agricoles de diversifier leurs revenus. Ces cultures sont toutefois en développement pour l'instant et il sera important de développer l'expertise nécessaire pour soutenir les producteurs dans cette nouvelle entreprise. Il faudra également faciliter l'accès aux semences et à la machinerie spécialisée qui pourrait être nécessaire dans certains cas.

Évaluation de la valeur du produit fini

L'éthanol peut remplacer jusqu'à 10 % de l'essence dans la grande majorité des moteurs sans qu'aucune modification ne soit nécessaire. Les constructeurs automobiles sont également davantage conscients de l'augmentation de la demande pour l'éthanol et on voit de plus en plus de moteurs pouvant fonctionner tant à l'éthanol qu'à l'essence apparaître sur le marché. Bien que l'éthanol contienne près de 40 % moins d'énergie sur une base pondérale que l'essence, la diminution de puissance du moteur occasionnée par son utilisation en mélange avec l'essence est minime. En effet, l'utilisation d'un mélange E10 réduit la puissance du moteur d'à peine 3 % et favorise une meilleure combustion. L'indice d'octane élevé de l'éthanol est également un avantage pour les moteurs en jouant sensiblement le même rôle que les dérivés du plomb utilisés autrefois.

Du point de vue économique, l'éthanol ne peut être considéré comme un produit à haute valeur ajoutée puisque son prix suit directement celui du pétrole qui est somme toute, un bien de consommation courant et relativement peu dispendieux.

Par contre, considérant la forte consommation annuelle d'essence des pays développés, la pénurie prochaine de cette ressource et le désir des gouvernements de s'en affranchir, tant pour des raisons économiques, politiques, qu'environnementales, le développement de cette filière peut devenir une industrie importante pour l'économie du Québec.

Filières concurrentes et complémentaires

Il existe plusieurs applications pour les résidus agricoles et les résidus de transformation agroalimentaire. La paille et le foin peuvent être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, des panneaux de haute densité, la fabrication d'énergie (combustion directe sous forme de granules et de bûches), la méthanisation, la litière, l'alimentation du bétail, l'industrie de la chimie verte, etc. Aujourd'hui, la fermeture des scieries crée une pénurie de copeaux de bois, matière première utilisée pour la fabrication de panneaux de particules et de granules. La demande

pour d'autres fibres alternatives comme le foin, la paille et les plantes à croissance rapide devient de plus en plus importante et les résidus lignocellulosiques risquent de devenir rapidement une denrée convoitée. Seule une analyse technico-économique des différentes filières de transformation saura déterminer celle qui sera la plus prometteuse et orienter ainsi l'industrie.

Les différentes technologies de production d'éthanol cellulosique actuellement en développement se livrent également une lutte féroce pour conquérir le marché. En effet, chaque compagnie possède une technologie qui lui est propre et mise sur des prétraitements et des procédés d'hydrolyse différents. Celles ayant développé des technologies à coût de production moindre et avec une rentabilité maximale auront un avantage compétitif majeur. C'est pourquoi il est primordial que nos gouvernements investissent de façon massive dans le développement technologique précompétitif pour que nos entreprises se taillent une place sur ce marché.

Le développement de l'éthanol cellulosique s'insère dans un vaste mouvement d'indépendance énergétique et de substitution des énergies fossiles. Cette technologie entre donc en compétition avec d'autres technologies de production d'énergies renouvelables telles que la gazéification, la pyrolyse, le moteur électrique ou à l'hydrogène, la carbonisation, etc. Encore une fois, c'est la technologie la plus rentable et la plus rapidement au point qui remportera la course.

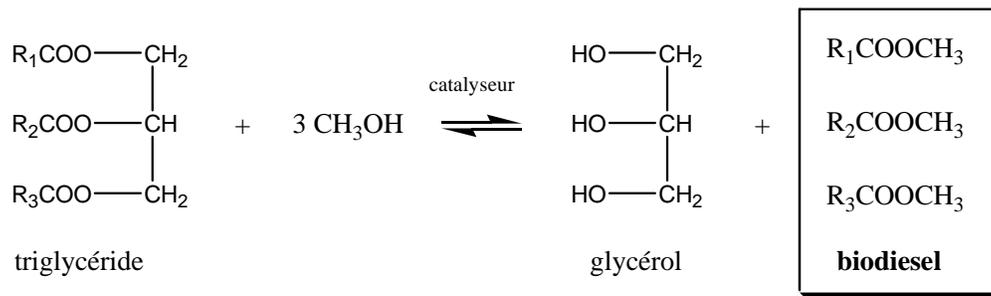
Par rapport aux autres énergies renouvelables, l'éthanol tire un avantage du fait que son utilisation se fait en mélange avec l'essence. Les mêmes réseaux de transport et de distribution pourront ainsi être mis à profit et faciliter la mise en place de la filière.

TRANSESTÉRIFICATION – BIODIÉSEL

Brève description du procédé

Le biodiésel est principalement composé d'esters méthyliques pouvant être utilisés sous certaines conditions comme carburant dans tout moteur à allumage par compression sans nécessiter de modifications. Il représente de ce fait un bon substitut pour le carburant diésel d'origine pétrolière. Le biodiésel possède plusieurs avantages distincts sur le diésel pétrolier quant aux aspects de sécurité, d'utilisation, de biodégradabilité et de respect de l'environnement.

La production de biodiésel de première génération se fait généralement par une réaction appelée transestérification faisant intervenir des triglycérides, du méthanol et un catalyseur (généralement l'hydroxyde de potassium) pour donner du biodiésel (90 %) et du glycérol (10 %) comme sous-produit, selon la réaction générale suivante :



Les sources de triglycérides peuvent provenir de différentes sources de matières grasses (huiles végétales et graisses animales). Une autre avenue peut être considérée pour la production de biodiésel de première génération. Elle fait intervenir des matières moins nobles, comme les huiles de friture usagées (graisses jaunes) ou les graisses de trappes (graisses brunes), qui sont des huiles de récupération provenant de l'industrie de la restauration principalement. Dans le cas de ces résidus, le contenu en acides gras libres est plus élevé ce qui implique un prétraitement des graisses (estérification acide des acides gras libres) avant l'étape de transestérification proprement dite. De plus, ces huiles contiennent un grand nombre d'impuretés nécessitant souvent une ou plusieurs étapes de purification du produit fini. L'avantage principal de l'utilisation de ces graisses est leur faible coût relativement aux sources plus nobles présentées précédemment.

Rendements en bioproduits et en coproduits

Le rendement de la transformation de l'huile en biodiésel avoisine les 100 %. En effet, une tonne d'huile végétale (acides gras et glycérol) mise en réaction avec 100 kg de méthanol (quantité nécessaire pour la transestérification) et une quantité variant de 1 à 2 % en catalyseur (généralement l'hydroxyde de potassium) va donner une tonne d'esters d'acides gras (biodiésel) et 100 kg de glycérol. En termes de bilan de masse, 90 % de la production est du biodiésel.

Le sous-produit principal du procédé de transformation du biodiésel est le glycérol, qui est égal à environ 10 % de la quantité de biodiésel produite. De plus, d'autres sous-produits, tels que des acides gras saponifiés peuvent aussi être produits en plus petites quantités, tout dépendant du type de procédé utilisé. Pour une usine de biodiésel, environ 20 % de la matière première utilisée est convertie en glycérol et en acides gras saponifiés.

Lors de l'extraction de l'huile végétale, le plus important sous-produit en termes de masse est le tourteau. Le tourteau est le résidu solide issu de la trituration des grains. Ce composé peut représenter entre 50 à 75 % de la masse des grains triturés. Il contient de 35 à 45 % de protéines qui font de celui-ci un ingrédient de choix pour l'alimentation animale. Plus le contenu en matière grasse résiduelle du tourteau est faible, moins sa valeur nutritive sera grande pour l'alimentation animale.

La glycérine (ou glycérol) est un sous-produit clair et gélatineux issu de la production de biodiésel à partir d'huiles végétales. Elle est communément utilisée comme agent hydratant, solvant ou lubrifiant par l'industrie des cosmétiques, ainsi que par l'industrie agroalimentaire pour retenir l'humidité. Le glycérol peut également servir de matière première pour la préparation de plusieurs dérivés chimiques dont les esters de glycérol (applications dans le domaine des émulsifiants cosmétiques et alimentaires, des lubrifiants et dans l'industrie du tabac), le carbonate de glycérol (un intermédiaire chimique important pour plusieurs produits), les polyéthylènes glycol (industrie du bois), les polyglycérols et les esters de polyglycérol (détergents, adoucissants, émulsifiants, dispersants et antimottants), les polyuréthanes, le 1,2-propandiol (agent dégraçant) et le 1,3-propanediol (polyols).

Les usines existantes

Dans le monde, les plus gros producteurs de biodiésel se situent en Europe (Allemagne, France et Italie principalement), avec un total de 6 434 millions de litres produits soit 65 % de la production mondiale en 2007. Les États-Unis arrivent en second (1 700 millions de litres en 2007) suivis du Brésil (1 000 millions de litres en 2007) et des pays d'Asie (1 000 millions de litres en 2007). Les compagnies impliquées dans ces productions en Europe sont Diester Industries/groupe Proléa Sofiprotéal (France), Archer Daniels Midland (États-Unis; filiale allemande), EOP Biodiesel (Allemagne), Novaol (Italie), Sauter/Miteldeutsche UmesterungsWerke (MUW) [Allemagne], Fox Petrol/Biofox (Italie), Campa Biodiesel (Allemagne) et Bio-Olwerk Magdeburg (Allemagne).

Au Canada, plusieurs usines de production de biodiésel sont également en fonction (Tableau 17).

TABLEAU 17 – USINES DE BIODIÉSEL EN FONCTION AU CANADA

Usine	Location	Capacité de production Million litres par an	Matière première
Rothsay Biodiesel*	Ville Sainte-Catherine, QC	35	Huiles de friture recyclées et graisse animale
Total Québec		35	
Methes Energies Canada Inc.*	Mississauga, ON**	5	Multi
Noroxel Energy Ltd.*	Tillsonburg, ON	10	Multi
1700097 Ontario Limited ('Woods Bio-Diesel')*	Englehart, ON	40	Multi
Biox Corporation*	Hamilton, ON	67	Multi
Total Ontario		122	
Bifrost Bio-Blends Ltd.	Arborg, MB	3	Huile de canola
Western Biodiesel Inc.*	High River, AB	19	Multi
Canadian Bioenergy**	Sturgeon County, AB	225	Canola
Eastman Bio-Fuels Ltd.**	Beausejour, MB	11	Canola
Greenway Biodiesel**	Winnipeg, MB	20	Canola
Kyoto Fuels	Lethbridge, AB	66	Multi
Milligan Bio-Tech	Foam Lake, SK	5	Canola
Total Prairies		349	
City-Farm Biofuels Ltd.*	Delta, CB	5	Multi
Total Colombie-Britannique		5	
Total Canada		511	

* Projets pour lesquels des accords ont déjà été signés dans le cadre du programme ÉcoÉNERGIE de Ressources naturelles Canada.

** Usines en construction selon l'Association canadienne des carburants renouvelables.

Source : ÉcoRessources Consultants et le Groupe Sine Nomine (2007) et Groupe Sine Nomine (2007)

Marchés déjà desservis

Le biodiésel peut remplacer totalement ou partiellement les distillats (diésel et mazout) dans tous les secteurs d'application tels que le transport, le chauffage résidentiel, la production d'électricité et tout autre usage industriel et agricole.

Le biodiésel est généralement utilisé en mélange avec le diésel d'origine pétrochimique. Les concentrations rencontrées le plus souvent sont 2 % (B2), 5 % (B5) et 20 % (B20). Avec de telles concentrations, aucune modification au niveau du moteur n'est requise. L'utilisation de biodiésel pur (B100) implique des ajustements plutôt mineurs au niveau du moteur; il est nécessaire de retarder d'un degré l'injection du carburant dans le moteur afin d'optimiser sa combustion et ainsi obtenir une performance plus comparable avec le diésel. L'utilisation du B100 a cependant des impacts assez significatifs sur le stockage de celui-ci dans le véhicule et sur la nécessité de chauffer le produit (réservoir et ligne d'approvisionnement) par temps froid.

Actuellement, presque tout le biodiésel produit au Québec est exporté aux États-Unis, principalement pour que les distributeurs puissent bénéficier d'un crédit d'impôt surnommé le « *blender's credit* », qui s'établit à 1 \$ US/gallon. Par ailleurs, quelques projets-pilotes ont été développés avec des consommateurs à grande échelle, où le biodiésel a été utilisé par des fournisseurs de transports publics (projet BioBus) et d'excursions de bateaux sur le fleuve Saint-Laurent (projet BioMer).

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Les procédés de production de biodiésel de première génération ne sont plus au stade du développement. Il s'agit d'une technologie présentant une bonne maturité et qui a conduit à l'implantation de plusieurs plans commerciaux d'envergure. Plusieurs usines de production ont été présentées dans ce document.

En ce qui concerne le Québec, une seule, l'usine Rothsay Biodiesel, une filiale de Maple Leaf, produit du biodiésel à l'échelle commerciale. Pour sa production, cette compagnie utilise des graisses animales en provenance des usines de la compagnie mère, ainsi que des huiles recyclées collectées dans les restaurants et les entreprises de transformation alimentaire de la région montréalaise.

Investissement requis

Afin de satisfaire à l'exigence fédérale prévue de l'ajout moyen de 2 % de biodiésel dans le diesel pétrochimique et le mazout à partir de 2011 au Canada, le Québec pourrait, s'il le désire, combler son marché domestique en augmentant significativement le volume de production qui est actuellement de 35 millions de litres par année (principalement Rothsay). Ce volume devra passer à environ 120 millions de litres soit une augmentation de 85 millions de litres (CQVB, 2008). Les investissements pourront être encouragés grâce à des incitatifs fiscaux provinciaux (remboursement de taxes à l'achat de biodiésel : 16,2 c/l si la production de biodiésel B 100 est supérieure à 3 000 l) et fédéraux (programme écoÉNERGIE pour les biocarburants : 26 c/l en 2008-2009). En termes d'investissement et à titre d'exemple, la société Sanimax a investi 22 millions de dollars au Wisconsin pour la production de 20 millions de gallons de biodiésel par année en 2007. Ce biodiésel est produit à partir de résidus d'abattoirs, de graisses de trappe et d'huiles de friture usées appartenant à Sanimal Inc. à Montréal et à Anamax Group à Green Bay au Wisconsin. Les collectes se font au Québec, en Ontario, en Alberta, en Ohio et au Wisconsin.

Coûts d'opération

Le coût de production du biodiésel est lié en grande partie au coût de la matière première. Aux États-Unis, en 2007, il a été montré que le coût de production du biodiésel produit à partir d'huile vierge de soya se situait entre 0,47 et 0,63 \$ US/l. Le prix de l'huile de soya était alors de 0,26 \$ US/l. Il était alors apparu en tenant compte des subventions offertes par le gouvernement américain que l'industrie du biodiésel serait rentable pour un prix inférieur à 0,34 \$ US/l. Étant donné l'augmentation importante du prix de l'huile de soya (0,50 \$ US/l) durant cette période, plusieurs projets de construction d'usines ont été suspendus. Pour le biodiésel produit à partir d'huiles non vierges ou de graisses recyclées, le coût de production est moindre. Toujours en 2007, ces matières premières se vendaient aux États-Unis à 0,13 \$/l, ce qui donnait un coût de production de l'ordre de 0,24 à 0,29 \$ US/l. Aujourd'hui, le prix des matières recyclées a augmenté significativement ce qui diminue la marge de profit sur le produit fini. Toutefois, le prix de ces matières premières demeure encore inférieur au prix des huiles vierges.

Pour le moment, les coûts de production du biodiésel s'avèrent supérieurs aux coûts de production du pétrodiesel et ce, même lorsque le prix de la matière première est faible. Ce phénomène met en évidence la nécessité de disposer de mesures de soutien gouvernementales pour permettre à l'industrie du biodiésel d'être rentable. Ceci est d'autant plus vrai lorsque la production implique une source de grains oléagineux vierges. Par contre, il est questionnable éthiquement et hasardeux de soutenir la production de biodiésel produit à partir d'huiles vierges à potentiel alimentaire.

Coûts de transport et de manutention des produits finis

Un facteur prépondérant à considérer dans l'élaboration d'un plan de production de biodiésel est le coût du transport et de la manutention de la matière première. Généralement, il est préférable que l'usine se trouve le plus près possible de la source de la matière première. Deux autres facteurs à considérer sont le prix et la disponibilité de cette matière première. En fait, le prix et la disponibilité sont liés l'un à l'autre directement. Il s'agit simplement d'une application du principe de l'offre et de la demande. Plus la matière première est en demande, plus son prix sera élevé. En ce qui concerne les quantités disponibles de matières premières (principalement les graisses animales et les matières recyclées), les avis sont partagés. Toutefois, il apparaît clairement que ces sources ne permettront pas à elles seules d'assurer la production de 360 millions de litres de biodiésel au Canada, quantité requise prévue pour assurer l'ajout moyen de 2 % de biodiésel dans le diésel pétrochimique et dans le mazout à partir de 2011 ou avant selon la faisabilité technique (réglementation fédérale).

De la même façon, le coût du transport du biodiésel doit être considéré. Comme l'intégration du biodiésel dans le diésel pétrochimique se fera probablement au sein même des infrastructures des compagnies pétrolières (échéance de 2011), il serait judicieux d'utiliser le réseau de transport et de distribution de cette industrie.

Rentabilité probable

La rentabilité d'une usine de production de biodiésel est liée directement à sa capacité de production. Certaines études ont montré que les coûts d'investissement pour une usine ayant une capacité de production de 1,9 million de litres/année étaient d'environ 0,70 \$/l. Ces coûts tendent à diminuer avec une augmentation de la capacité de production de biodiésel.

Enjeux – Approvisionnement

La spéculation sur les matières premières (compétition avec l'industrie alimentaire entre autres) ainsi que la demande exercée sur ces matières premières est un frein important au développement de cette filière.

Enjeux - Éléments techniques

Les lacunes entourant la distribution à grande échelle de biodiésel (pour le stockage, le transport et le mélange) constituent le principal facteur limitant sa consommation sur le territoire canadien et québécois. La consommation de biodiésel au Québec se limite aux utilisateurs possédant leur propre infrastructure de stockage (comme les sociétés de transport en commun) et le biodiésel leur est normalement livré par les producteurs eux-mêmes ou par le biais de distributeurs indépendants, mais il n'y a pas encore de système de transport proprement dit. (Groupe Sine Nomine, 2007).

À cause des propriétés particulières du biodiésel, il n'est pas possible de l'acheminer par le réseau d'oléoducs existant. De plus, les mélanges sont préparés par simple déversement du biodiésel et du diésel dans un réservoir, alors que l'utilisation de technologies à injection est souhaitable afin d'assurer l'uniformité du mélange. Au Québec, les lacunes concernant l'infrastructure de distribution entre les producteurs et les consommateurs sont reconnues dans la *Stratégie énergétique du Québec*.

Finalement, un autre frein à la production de biodiésel à partir de sources oléagineuses cultivées pourrait être la capacité d'extraction limitée qui est disponible actuellement au Québec.

L'usine de trituration de soya et de canola TRT-ETGO (Entreprise de Transformation de Graines Oléagineuses du Québec) à Bécancour devrait commencer ses activités durant la première moitié de l'année 2010. Bien qu'elle se destine principalement à l'industrie alimentaire, l'activité de cette compagnie pourrait élargir les perspectives de production de biodiésel au Québec. Ce projet de 153 M\$ compte transformer 400 000 tonnes de soya et 600 000

tonnes de canola par année. Ainsi, environ 350 000 tonnes d'huile provenant de ces cultures seront produites. À ces chiffres, s'ajoutera le raffinage de 200 000 tonnes d'huile de palme importée sous forme liquide.

Enjeux - Problématiques commerciales

Parmi les barrières au développement de cette filière, il y a très certainement les fluctuations à la baisse des prix du pétrole qui se sont manifestés à la fin de l'année 2008 et au début de l'année 2009. Lorsque le prix du diésel pétrochimique est inférieur à celui du biodiésel, la viabilité économique d'une usine de production de biodiésel devient discutable. De plus, les consommateurs sont moins enclins à acheter du biodiésel si ce n'est pour des considérations environnementales.

Enjeux - Aspects réglementaires

La mise en marché du biodiésel exige une certification qui respecte des normes (17 points de norme) de haute qualité et dont les analyses sont coûteuses (environ 2 000 \$/lot analysé). Comme chaque lot doit être certifié, il est préférable de produire des quantités importantes qui seront testées une seule fois pour éviter des coûts additionnels. Cette façon de procéder implique une garantie de la qualité de la source d'approvisionnement. Avec des grains oléagineux cultivés, il est possible d'avoir une bonne assurance de la qualité de la matière première. Pour ce qui est des matières premières recyclées, une variabilité importante peut être observée en ce qui a trait à la composition de celles-ci. Cette variabilité peut être liée à la période de collecte, à la façon dont la matière est collectée, à l'endroit de la collecte, etc. Ce paramètre est par définition difficile à prévoir et il peut être pris en compte dans le procédé de production lui-même en intégrant des étapes de purification supplémentaires de la source et/ou du produit fini. Toutefois, ces étapes supplémentaires augmentent le coût de production du biodiésel.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Parmi les facteurs positifs, l'instauration probable par le Canada d'une obligation d'avoir un mélange moyen de 2 % de biodiésel dans le diésel pétrochimique et le mazout au Canada à partir de 2011 devrait stimuler cette filière. Le rapport de l'OCDE et de la FAO (2008) concernant les perspectives des marchés des produits agricoles pour la période 2008-2017, prévoit que la production de biodiésel mondiale devrait augmenter graduellement jusqu'en 2017 (production prévue de 24 milliards de litres). Au Canada, il est envisagé que des réductions fiscales au niveau provincial associées à des avantages fédéraux octroyés directement aux producteurs de biodiésel permettent d'obtenir un prix du biodiésel inférieur au diésel pétrochimique.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Le biodiésel possède un meilleur bilan environnemental que le diésel pétrolier, à savoir : 1) il s'agit d'un carburant renouvelable; 2) il présente un point d'éclair plus élevé, ce qui rend son transport et son entreposage plus sécuritaire; 3) il réduit les émissions de particules et de GES; 4) il a un faible potentiel de formation d'ozone; 5) il réduit la formation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP); 6) il contient peu ou pas de soufre, ce qui réduit les émissions de SO₂; et 7) il possède une biodégradabilité équivalente à celle du glucose.

L'utilisation de biodiésel entraîne une réduction des GES produits lors de la combustion dans le moteur. Ainsi, 2 % de biodiésel ajouté au diésel conventionnel entraîne une réduction de 1 à 2 % des GES. Un mélange comprenant 20 % de biodiésel réduit les émissions de GES de 12 à 18 %. Lorsque le biodiésel est utilisé pur, une réduction de 64 à 92 % est atteinte.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les sources de biomasses valorisables par ce procédé sont certaines cultures oléagineuses et certaines matières organiques résiduelles végétales et animales. Dans le cas de ces trois sources, ce sont le contenu en huile (triglycérides) et en acides gras libres qui sont considérés.

Cultures oléagineuses

Parmi les cultures oléagineuses, le soya et le canola sont les plus intéressantes. Les huiles de soya et de canola peuvent être utilisées pour une production de biodiésel notamment les huiles provenant de grains déclassés puisqu'ils ne sont habituellement pas destinés à l'alimentation. Toutefois, le volume de ces grains est relativement restreint. Certaines espèces de soya (ex. Dupont agricultural products G94-1, G94-19 et G168) et canola (*Brassica Napus*) (ex. Pioneer Hi-Bred International, Inc 45A37 et 46A40, riches en acide oléique et en acides gras mono-insaturés), présentent intrinsèquement une stabilité oxydative acceptable pour une utilisation en tant qu'intrant pour une production de biodiésel de première génération. Par contre, le lin n'a pas été retenu à cause de sa grande instabilité oxydative (présence d'acide linoléique en bonne proportion) et à cause du coût beaucoup plus élevé de son huile comparativement aux huiles de soya et de canola. En plus de ces espèces, il faut mentionner la cameline de la famille des moutardes qui pousse dans des climats nordiques et qui nécessite peu d'entretien. L'huile extraite de cette espèce présente l'intérêt de ne pas être utilisée dans l'industrie alimentaire. De plus, cette plante peut être cultivée en rotation avec d'autres cultures sans difficulté. Il serait intéressant de valider si cette espèce est effectivement cultivable au Québec.

Matières organiques résiduelles végétales

Bien qu'elles ne soient pas mentionnées dans la section Source de biomasse pour la production de bioproduits, les huiles de friture usées produites par l'industrie de la restauration doivent être considérées comme une source importante pour la production de biodiésel. Celles-ci sont constituées majoritairement de triglycérides généralement d'origine végétale. De la même manière, les graisses de trappe et autres résidus de l'industrie de la restauration, doivent être prises en compte. Ces graisses de trappe sont des émulsions non homogènes de matières organiques et d'eau de composition variable comprenant principalement des acides gras libres, des mono-, di- et triglycérides, des dimères et trimères d'acides gras, des produits d'oxydation de ces acides gras, des matières insaponifiables et des produits de la fermentation acétique ou butyrique. Cette composition est sujette à des variations importantes selon la provenance de ces graisses (type des huiles ou graisses utilisées dans les restaurants ou l'industrie) et selon les saisons (hydrolyse et fermentation plus importantes en été qu'en hiver). Étant donné leur composition variable, ces graisses pourraient également être classées dans la section Matières organiques résiduelles animales.

Matières organiques résiduelles animales

Parmi les matières organiques résiduelles animales, les résidus d'abattoir et les huiles de poisson sont une source de triglycérides considérée actuellement dans la production du biodiésel.

Évaluation de la valeur du produit fini

Le biodiésel utilisé en tant que carburant n'est pas un produit à très haute valeur ajoutée. Il peut se vendre autour de 1 \$ CAN/L (0,90 \$ à 1,30 \$/l). Les marges de profit obtenues sur la vente d'un litre de biodiésel vont fluctuer en fonction d'un certain nombre de facteurs. Tout d'abord, le coût de la matière première utilisée affecte le prix du produit fini. Dans le cas de sources de graines oléagineuses cultivées, le prix de l'huile se négocie sur les principales bourses de commerce (Chicago entre autres). Ce prix est souvent issu de la spéculation du marché. Par exemple, la spéculation sur les prix du maïs (production d'éthanol à partir du maïs) en 2005 a également affecté le cours des oléagineux qui peuvent être utilisés également comme une source de biocarburants. Pour ce qui est des sources recyclées telles que les huiles de friture usées et les graisses de trappe, leur prix va dépendre de la demande. Actuellement, les huiles de friture usées peuvent se transiger à un prix pouvant atteindre 0,70 \$/l tandis que les graisses de trappe se vendent aux alentours de 0,05 \$/l. Dans le cas de ces dernières, leur faible prix s'explique, entre autres, par leur utilisation encore marginale. Ces prix vont probablement augmenter de façon importante avec l'accroissement de la demande, d'autant plus que la disponibilité de ces sources est assez limitée. Le prix du biodiésel va également dépendre du prix du diésel pétrochimique.

Le glycérol, principal sous-produit de la production de biodiésel, se transigeait autour de 1 \$ la livre durant la deuxième moitié de l'année 2008 (ICIS pricing, 2008).

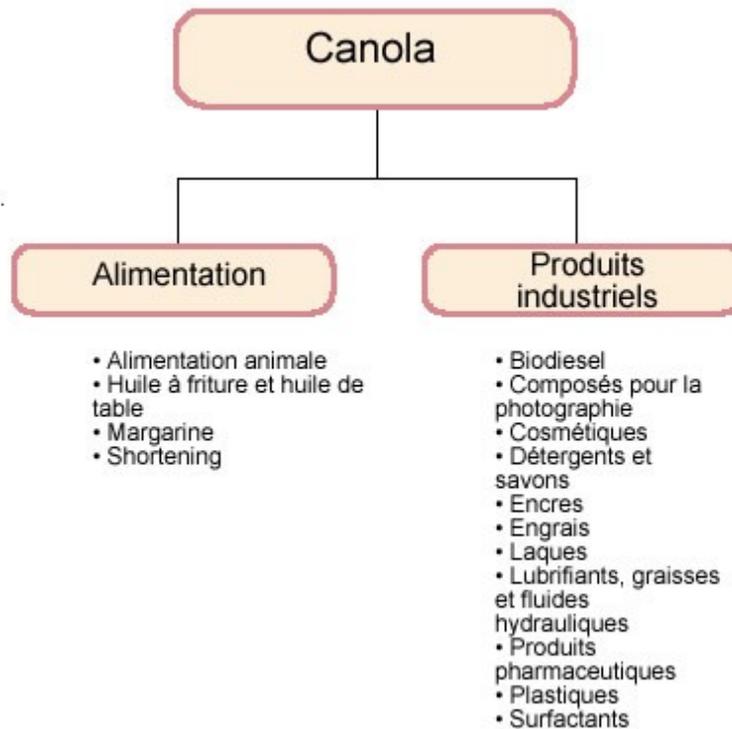
Filières concurrentes et complémentaires

Tel que mentionné, le biodiésel peut être produit à partir d'huiles obtenues de certaines cultures oléagineuses ou bien de matières organiques végétales et animales usées. La compétition entre ces deux filières de production se situe au niveau du coût de la matière première, mais également au niveau du coût du procédé. Actuellement, les huiles ou graisses recyclées se transigent à des coûts relativement bas. Toutefois, leur quantité demeure limitée comparativement aux quantités qui seront nécessaires afin de satisfaire l'obligation prévue de 2 % de biodiésel dans le diesel pétrochimique à partir de 2011. De plus, ces matières recyclées pourraient ne pas être toutes utilisées pour la production de biocarburants. Les procédés de production de biodiésel impliquant ces sources sont également plus complexes que ceux utilisant des graines oléagineuses.

D'autres applications sont envisageables. Dans le cas des huiles de graines oléagineuses, il a été vu précédemment que le canola et le soya pouvaient être de bons candidats pour la production de biodiésel. Pour ce qui est du canola spécifiquement, le Canada en est un gros producteur et le premier pays exportateur au monde.

Cette production se fait principalement dans la région des Prairies. Après extraction de l'huile, plus de la moitié de la production est exportée vers les États-Unis chaque année. Sur la quantité restante, une bonne proportion se destine à des applications alimentaires entre autres. La Figure 10 présente les domaines d'applications qui peuvent impliquer l'huile de canola.

FIGURE 10 – UTILISATION POSSIBLE DU CANOLA



Source : Casséus, 2009

La plupart de ces domaines entrent donc en compétition avec la production de biodiésel. Au Québec, la culture de canola est quasiment inexistante, sauf dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean et dans la région de Chaudière-Appalaches, bien qu'il ait été montré que d'autres régions possédaient un climat propice à ce genre de culture.

Le soya est cultivé principalement en Ontario et au Québec (15 % de la production nationale). Comme le canola, son utilisation implique plusieurs secteurs d'activités, dont l'industrie alimentaire. Par conséquent, afin de minimiser la compétition entre les filières alimentaires et industrielles pour ces huiles, l'utilisation de variétés non alimentaires serait également souhaitable. Elle ne suffirait pas à combler les besoins, mais elle pourrait venir compléter la production de biodiésel obtenu à partir du canola et/ou du soya.

GAZÉIFICATION - CARBURANT RENOUVELABLE ET BIOCOMBUSTIBLE GAZEUX (SYNGAZ)

Brève description du procédé

Le procédé de gazéification consiste en une transformation sous l'effet de la chaleur d'un produit organique solide ou liquide en gaz. Le gaz obtenu est généralement riche en hydrogène et en monoxyde de carbone. Ce gaz, appelé aussi syngaz ou gaz de synthèse, peut être utilisé comme combustible pour produire de l'énergie ou comme matière première pour la fabrication, selon le rapport CO/H₂ et le catalyseur utilisé, d'alcools, d'éthers et d'hydrocarbures. Ainsi, à l'aide de la gazéification combinée avec d'autres procédés de synthèse, on peut fabriquer de l'éthanol, du méthanol, du méthyle-ter-butyl-éther (MTBE), du diméthyl-éther (DME), etc. Les gaz de synthèse combinés avec le procédé Fischer-Tropsch permettent d'obtenir une multitude de produits dont du « diesel renouvelable » et du bioéthanol à partir d'intrants variés.

La gazéification comprend deux étapes principales : 1) la transformation de la biomasse en gaz (composés organiques volatils (COV), CO₂, CH₄, CO, H₂, HC), en liquides (biohuile, eau) et en résidu solide (biocharbon) à une température d'environ 500 C° et 2) la transformation des produits de la première étape en gaz contenant majoritairement du CO, de H₂ et d'autres gaz comme le CO₂, le NH₃ et le NO_x ainsi que des cendres (oxyde de calcium, de potassium et de magnésium).

Rendements en bioproduits et en coproduits

Le rendement en produits dépend de la composition chimique de la biomasse. Un exemple de rendements de produits obtenus par gazéification d'une biomasse ayant une teneur en eau de 25 % et une granulométrie 5 mm < d < 100 mm, donne environ 23 % de CO, 14 % de H₂, 2 % de CH₄ et 10 % de CO₂.

Les usines existantes

Plusieurs unités pilotes et de démonstration de procédés de gazéification ont été développées dans le monde. La plupart de ces projets se concentrent sur les étapes en amont de la gazéification (élimination des goudrons et purification des gaz de synthèse). La première unité pilote de diesel de synthèse a été construite en Allemagne en 2005. Choren Industries en partenariat avec le groupe Shell projettent construire en Allemagne une unité pilote de gazéification qui produira annuellement 4 000 tonnes de diesel de synthèse à partir de la paille de céréales. Les Autrichiens ont aussi testé une technique de production de diesel de synthèse dans une unité pilote de capacité de production de 30 litres/jour. Une usine pilote de gasoil de synthèse devrait être mise en place par Stora Enso et Neste dès 2008 au sein de l'usine de pâtes et papiers de Verkaus en Finlande. L'unité valoriserait ainsi les résidus forestiers et papetiers disponibles sur le site. Similairement, Chemrec et Newpage envisagent la construction d'une unité de production de biocarburants par gazéification de la liqueur noire au sein de l'usine de pâtes et papiers de Newpage dans le Michigan. Le Commissariat à l'Énergie Atomique de France prévoit construire une usine pilote de 15 000 t de diesel de synthèse par an à Bure (Meuse) en utilisant la technologie Fisher-Tropsch commercialisée par la société Axens.

Au Canada, des usines commerciales de démonstration ont été construites. La compagnie Enerkem a construit une usine à Westbury d'une capacité de traitement de 100 000 t/an et Plasco Energy Group, qui utilise une technologie au plasma, a construit une usine à Ottawa d'une capacité de traitement de 200 t/jour. Les gaz de synthèse des deux usines sont présentement utilisés pour la production d'électricité.

Marchés déjà desservis

La technologie utilisée pour la fabrication de gaz de synthèse est présentement utilisée pour la production de chaleur ou de l'électricité. Les techniques de purification des gaz de synthèse sont encore en développement. La production de diésel synthétique à partir des gaz de synthèse issus de la biomasse n'est pas encore mise au point.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

La connaissance de l'offre en biomasse et la demande en bioénergies et en bioproduits sont primordiales si l'on souhaite déterminer la technologie la mieux adaptée en tenant compte du contexte régional et dans une perspective de développement durable. La sélection d'une technologie de valorisation (matière ou énergie) doit être effectuée selon la composition d'une biomasse, dans des conditions économiques et environnementales acceptables. Le choix d'une technologie doit se faire également en relation avec la situation locale (nature et dispersion des biomasses en amont et marché pour les biocarburants en aval).

Les matières premières qui sont utilisées dans les procédés de pyrolyse, de gazéification et de procédés combinés (pyrogazéification) sont pratiquement les mêmes et sont de différentes origines. En ce qui concerne la présente étude, les matières premières à traiter sont des biomasses d'origine agroforestière comme les résidus agricoles, les résidus agroalimentaires, les écorces, les cultures dédiées lignocellulosiques, les balles de riz⁵, la paille, la sciure, les résidus de bois sec, la lignine, la poussière de paille, etc.

Les gaz qui sortent du procédé (Syngas) sont dépourvus de goudron, mais contiennent des impuretés (CO₂ et NO_x) qu'il faut éliminer avant de passer à la synthèse de biocarburants.

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Les procédés de thermoconversion de la biomasse, comme la pyrolyse, la gazéification et la carbonisation sont des alternatives de production de bioénergies qui peuvent être adaptées aux contraintes des milieux ruraux. Les producteurs agricoles et forestiers œuvrent souvent dans des domaines différents (différentes cultures donc différents résidus) et ceux qui œuvrent dans le même domaine se trouvent à des distances éloignées. Deux problématiques se posent alors, soit il n'y a pas de volume suffisant pour construire une usine de transformation, soit les coûts de collecte et de transport de la matière première ainsi que le coût de distribution des produits sont excessivement élevés.

Les petits producteurs agricoles et forestiers pourront s'associer en coopérative ou créer une entreprise afin de surmonter les obstacles dus au manque de volume et au coût de transport. Ils pourront construire une usine qui sera capable de valoriser différents résidus en créant des systèmes de collecte, de transport et de distribution. À court terme, les gaz de synthèse seront utilisés pour la production d'électricité.

À long terme, il serait avantageux d'utiliser les gaz de synthèse, une fois purifiés, pour la synthèse de bioproduits ou de biocarburants. Beaucoup de travaux de recherche sont orientés vers la purification de ces gaz et vers la réduction de la formation de goudron dans les réacteurs de gazéification. Dans un délai de 5 à 10 ans, les technologies de gazéification de la biomasse et de synthèse de carburants à partir des gaz de synthèse seront mises au point.

Les usines de gazéification créeront beaucoup d'emplois de qualité dans les régions ressources. Comme la gazéification a été développée pour le recyclage des résidus solides, le volet environnemental a été pris en considération lors de sa conception. La gazéification de la biomasse est une technologie qui respecte

⁵ La balle, déchet de vannage du riz peut être brûlé ou gazéifié.

l'environnement. Elle contribue grandement à la réduction des GES. Ses bilans thermique et environnemental sont considérés meilleurs que ceux des technologies de production de bioénergies de première génération.

La gazéification peut être en aval de la pyrolyse, de la carbonisation, de la transestérification, de la méthanisation et de la fermentation. En effet, l'huile pyrolytique, le biocharbon, la glycérine, le digestat et les résidus de fermentation peuvent être utilisés comme matières premières pour la gazéification. Le biocharbon est une bonne matière première pour la production d'hydrogène par gazéification.

Investissement requis

Les investissements requis pour une unité de gazéification dépendent de la capacité de production de l'usine et de la technologie utilisée. Ainsi, une unité de gazéification du type Enerkem de 100 000 t/an coûte plus que 80 millions de dollars. Les coûts varient d'une usine à l'autre, selon la technologie utilisée.

Coûts d'opération

Étant donné que le stockage des gaz demande des investissements très coûteux et afin de réduire les coûts de production, il est préférable d'utiliser ces gaz directement à la sortie de l'unité de purification pour produire de l'électricité, de la chaleur ou des produits à valeur ajoutée. Les coûts de post-traitement et les coûts associés à la manutention des gaz s'ajoutent aux coûts variables d'opération.

Le coût de production dépend du coût de la biomasse, du coût en capital, du taux d'intérêt et du taux de dépréciation. Les coûts de production des unités de thermoconversion demeurent confidentiels pour l'instant puisque celles-ci sont encore au stade pilote.

Coûts de transport et de manutention des produits finis

L'un des inconvénients du procédé de gazéification est le transport des produits finis, spécialement en milieu rural. L'usine de gazéification doit être équipée soit d'unités de purification et de transformation des gaz de synthèse pour produire des biocarburants et des bioproduits, soit d'unités de fabrication de chaleur et d'électricité. Il faut aussi que l'usine possède son propre réseau de distribution d'électricité ou qu'elle puisse se connecter au réseau d'Hydro-Québec. L'usine de gazéification doit se situer dans une région où la matière première est accessible à proximité.

Rentabilité probable

Il est difficile de dire à cette étape, que la gazéification utilisée pour la fabrication de carburants et de bioproduits est un procédé rentable, puisque la technologie n'est toujours pas au point. Toutefois, pour la fabrication d'électricité à partir des déchets et des résidus sans grande valeur marchande, elle peut être économiquement viable si la demande locale et celle des milieux environnants en électricité est importante.

Enjeux - Approvisionnement

Avant d'opter pour une technologie donnée, il faut s'assurer de la constance de l'approvisionnement en matières premières. Il faut signer des contrats à long terme pour ne pas perturber le fonctionnement de l'usine. L'essentiel de la matière première pourrait provenir de cultures dédiées produites à proximité sur des terres agricoles. La question de la machinerie utilisée est également très sensible. En effet, la préservation des sols et des jeunes pousses est une priorité pour les propriétaires de lots qui seront peu enclins à laisser passer des machineries lourdes sur leurs terrains. Ceci concerne surtout la récolte des plantations à croissance rapide.

Enjeux - Éléments techniques

Les obstacles reliés au traitement des gaz de synthèse doivent être surmontés. Les unités de synthèse de bioproduits et de bioénergies demandent des gaz de synthèse séchés, purifiés et comprimés à haute pression. La présence de contaminants peut réduire l'activité des catalyseurs et affecter les compresseurs. Ainsi, la productivité des unités de transformation sera diminuée.

D'autres contraintes spécifiques reliées à la collecte des intrants soit l'éloignement des lieux de récolte par rapport à l'unité de gazéification; le rapport volume/masse, l'humidité élevée, la contamination du sol par les minéraux, le pourrissement de la biomasse et la réduction de sa masse organique, augmentent les défis techniques.

Enjeux - Problématiques commerciales

Comme les usines de gazéification sont de grande capacité, le développement d'un réseau de distribution des produits fabriqués (bioénergies, bioproduits et électricité) est incontournable.

Étant donné que les unités de production de carburant à partir des gaz de synthèse n'existent pas encore à l'échelle commerciale, la gazéification se limite à l'alimentation des génératrices d'électricité et des centrales thermiques. Ainsi à court terme, les gaz de synthèse serviront à produire de la chaleur et de l'électricité. Dans un moyen terme, les bioraffineries seront les plus grandes consommatrices de ces gaz. Elles les transformeront en biocarburants et en bioproduits.

Enjeux - Aspects réglementaires

Une demande de certificat d'autorisation devra être déposée auprès du MDDEP avant de procéder à la mise en place d'une unité de gazéification, car il y aura des émissions dans l'environnement. Divers règlements pourront être appliqués en fonction des équipements et du site retenu, du type d'émissions, de l'entreposage, de la distribution et de l'application des gaz de synthèse.

Les gaz traités seront acheminés vers les unités de production d'électricité et/ou de chaleur et les unités de fabrication de bioproduits et de biocarburants.

Le site de production doit être loin des habitations (voir la réglementation environnementale) pour éviter d'incommoder les résidents avec les odeurs et les COV émis par la gazéification.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

La gazéification de la biomasse fournit la matière première (gaz de synthèse) pour plusieurs procédés, notamment le procédé de Fisher-Tropsch qui permet d'obtenir des biocarburants. La gazéification accepte une matière première constituée d'un mélange de résidus forestiers et agricoles. Les gaz de synthèse ont de multiples applications. Chaque application nécessite un gaz avec une concentration en CO et H₂ bien définie. Une multitude de produits pour différents usages peuvent être obtenus à partir des gaz de synthèse. Ces multiples usages assurent la pérennité de la technologie de gazéification au Québec. Présentement, la technologie de gazéification est subventionnée par les deux paliers gouvernementaux.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Les réactions qui se déroulent dans un procédé de gazéification sont théoriquement autothermiques. Si le procédé est bien contrôlé, une bonne partie de l'énergie contenue dans les gaz secondaires sera récupérée. Le bilan énergétique du procédé est controversé. Si on considère l'énergie dépensée pour le traitement des gaz issus de la gazéification et pour la synthèse des produits, le bilan énergétique de la technologie de fabrication de diesel ou de produits pétrochimiques est négatif. Cependant, le prix et le mode d'utilisation des produits fabriqués font de cette

technologie une voie privilégiée de fabrication d'énergie renouvelable. Bien que cela fasse près de 30 ans que les chercheurs travaillent d'arrache-pied pour valider cette technologie à l'échelle industrielle, elle demeure toujours à l'étape expérimentale.

Si le procédé est bien maîtrisé et si les mesures de prévention de la pollution sont prises en compte (récupération des cendres et traitement des gaz), le procédé n'est pas considéré comme polluant.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les cultures herbacées ou ligneuses telles que le panic érigé, le miscanthus, le saule et le peuplier pourront être valorisées via le procédé de gazéification. Les productions végétales génèrent également de grandes quantités de résidus ligneux principalement sous forme de pailles ou de fourrages. Il peut s'agir des pailles issues des cultures céréalières et oléagineuses ainsi que des résidus de cultures fourragères de moindre qualité. Le principal problème de ce type de résidus réside dans la difficulté d'évaluation des quantités disponibles.

Les matières premières utilisées pour produire du diesel synthétique « SunDiesel » sont les copeaux de bois des résidus forestiers, les copeaux de bois des plantes à croissance rapide, les balles de foin, les balles de branches de bois, le miscanthus, les résidus des produits céréaliers, les résidus des scieries et les bois recyclés.

Les cultures dédiées ne peuvent pas être considérées à proprement dit comme un résidu. Toutefois, ce type de biomasse peut être utile pour assurer un approvisionnement constant et ainsi permettre la réalisation d'un projet de gazéification dans des régions ressources.

Un exemple de cultures dédiées est présenté au Tableau 18 qui montre l'aire des terres cultivées pour fournir 500 000 tonnes/an de biomasse au Canada. L'aire cultivée est déterminée par l'équation suivante :

$$A_c = \frac{Q}{Y_s}$$

A_c = aire cultivée (ha); Q = demande annuelle de la biomasse; Y_s = rendement moyen de la biomasse (t/ha).

Le rayon d'approvisionnement est calculé en fonction d'un besoin en biomasse de 500 000 tonnes annuellement, du rendement net et de la superficie cultivée.

TABLEAU 18 – RENDEMENTS COMPARÉS POUR TROIS TYPES DE BIOMASSE CELLULOSIQUE

Culture	Rendement net (t/ha)	Demande annuelle (t)	Superficie cultivée (ha)	Nombre d'années entre approvisionnement	Superficie totale (ha)	Rayonnement d'approvisionnement (km)
Paille de blé	1,822	500 000	274 403	3	5 488 062	132
Tiges de maïs	3,677	500 000	135 983	2	1 510 919	69
Panic érigé	6,750	500 000	74 074	1	1 481 481	69

Source : Sokhansanj et Fenton, 2006.

Évaluation de la valeur du produit fini

Les gaz de synthèse seront caractérisés en termes de concentration en CO et H₂, et de leur teneur en soufre, goudron, COV, eau, etc. Les propriétés des gaz de synthèse dicteront les traitements qu'il faut faire pour répondre aux exigences des procédés. Le rapport molaire CO/H₂ varie en fonction du produit qu'on désire obtenir et du procédé de synthèse qu'on utilise. Les gaz de synthèse sont utilisés pour produire du gaz naturel synthétique (SNG), du diméthyl éther, du méthanol, de l'éthanol, du diésel synthétique, de l'essence, du kérosène, des paraffines, etc.

Filières concurrentes et complémentaires

La paille et le foin peuvent être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, des panneaux de haute densité, pour la fabrication d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), pour la méthanisation, pour la fabrication de litière, pour nourrir le bétail, etc. Aujourd'hui, la fermeture des scieries, crée une pénurie de copeaux de bois, matière première pour la fabrication de panneaux de particules et de granules. La demande pour d'autres fibres alternatives comme le foin, la paille et les plantes à croissance rapide devient de plus en plus importante.

Étant donné que la paille et le foin, ainsi que les plantes à croissance rapide n'entrent pas en compétition avec l'industrie alimentaire, leur utilisation sera partagée entre les bioénergies et les autres bioproduits. La compétitivité sera basée non pas sur la matière première, mais aussi sur les produits finis.

Il y a plusieurs technologies pour une même matière première (biomasse agricole). Les résidus agricoles deviendront rapidement des matières premières très convoitées.

Filières se livrant compétition pour les mêmes composés et matières premières

Les filières qui sont en compétition avec la gazéification pour les résidus agricoles incluent la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la méthanisation et l'hydrolyse enzymatique, ainsi que la fabrication de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.

Filières complémentaires

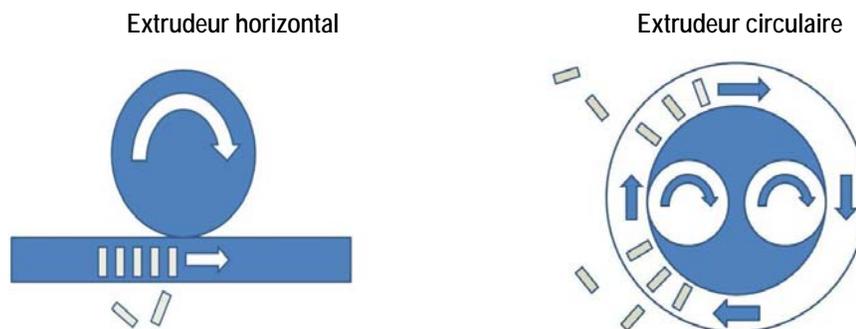
La gazéification est un procédé qui peut utiliser le foin, la paille et les plantes à croissance rapide comme matière première pour la fabrication de gaz de synthèse. Le biocharbon issu de la carbonisation est aussi un intrant pour la gazéification. Elle peut aussi utiliser, comme matière première, les résidus solides des procédés de fermentation et de méthanisation ainsi que les litières usées pour produire des gaz de synthèse.

DENSIFICATION - BIOCOMBUSTIBLE SOLIDE – GRANULES

Brève description du procédé

Le procédé consiste à broyer, à conditionner et à granuler différentes biomasses pour produire des granules utilisés dans des chaudières de combustion afin de chauffer des bâtiments. Les granules peuvent aussi être utilisés comme litière pour le bétail. Ils consistent en de courts bâtonnets de forme cylindrique de 6 à 8 mm de diamètre et d'une longueur de 10 à 30 mm. Le procédé de densification consiste en une extrusion de la biomasse broyée qui est pressée à l'aide de rouleaux sur la paroi intérieure d'une matrice cylindrique perforée ou encore, sur une matrice horizontale (Figure 11). La biomasse est par la suite sectionnée à une longueur fixe à l'aide de couteaux. Le rendement obtenu en granules dépend de différents facteurs dont la composition de la matière première et son taux d'humidité.

FIGURE 11 – SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN EXTRUDEUR



Source : ÉcoRessources Consultants, 2010

Les technologies nécessaires à la production de granules sont relativement bien connues, car les premières usines datent des années 1970. Les équipements nécessaires pour le bon fonctionnement d'une usine de fabrication de granules sont un broyeur lent, un broyeur à marteaux, un séchoir rotatif à air direct, des presses à granules, des refroidisseurs à contre-courant, un tapis vibrant, une ensacheuse automatique, un système complet de dépoussiérage et un lot de convoyeurs. Comme matériel roulant, il est nécessaire d'avoir des chargeuses frontales ainsi que des chariots élévateurs.

Rendements en bioproduits et en coproduits

Les presses à granules les plus efficaces sur le marché peuvent actuellement produire jusqu'à 5 tonnes à l'heure. Les équipements de densification des aliments pour animaux peuvent aussi fabriquer des agrogranules combustibles. Les équipements sont semblables pour les différents types de biomasses, mais les systèmes d'alimentation en biomasse doivent être adaptés. Le contenu énergétique du panic érigé et autres plantes herbacées pouvant servir de biomasse est d'environ 19 gigajoules la tonne ou d'environ 5 à 7 % inférieur à celui des déchets de bois sur une base d'humidité équivalente (Samson *et al.*, 2005). Le contenu en cendres est d'environ 3 à 5 % dans l'est du Canada et d'environ 5 à 9 % dans l'ouest du Canada.

Les usines existantes

Les usines de densification existantes au Québec utilisent principalement de la biomasse forestière, bien qu'elles puissent aussi granuler de la biomasse agricole. L'industrie des granules de bois au Québec existe depuis le début des années 1980, particulièrement avec la construction de l'usine Bio-Shell à Lac-Mégantic, maintenant Energex inc., qui demeure la plus grosse usine de production actuellement. Quelques autres usines produisent aussi des granules énergétiques dont Luzernes Belcan Lac-Sain-Jean Inc., Lauzon Bois énergétique recyclé inc., Granules L.G. inc., Granule Boréal inc. et Corporation Énerblock inc.

Selon le *Wood Pellet Association of Canada*, la capacité moyenne des usines canadiennes de granules était de 60 000 tonnes par année en 2006 (Roche, 2007). La capacité de production des usines de granules et de bûches écologiques est en hausse significative depuis quelques années. Les usines de granules ont de plus en plus tendance à fonctionner 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Pour ces raisons, un nouveau producteur de granules ne devrait pas viser une capacité de production inférieure à 50 000 tonnes par année et devrait idéalement atteindre 100 000 tonnes par année, de pair avec une utilisation optimale de la capacité des équipements clés (séchoir et presse) (Lease *et al.*, 2008).

Marchés déjà desservis

Le marché des bûches et granules compressés est actuellement en pleine expansion. Ce marché représente une demande annuelle de plusieurs millions de tonnes aux États-Unis ainsi qu'en Europe. On utilise les granules tant pour le marché résidentiel que pour les applications industrielles. La demande annuelle européenne atteint aujourd'hui plusieurs millions de tonnes et croît chaque année. Du côté nord-américain, la demande projetée pour 2006-2007 est de 1 500 000 tonnes. En considérant que les Américains ont annoncé à travers le Energy Policy Act 2005 qu'ils voulaient réduire leur consommation en combustible fossile de 25 % d'ici 2025, on peut prévoir une hausse marquée de la demande de combustible issue de la biomasse telle que les granules (Allard, 2007). Le marché mondial des granules énergétiques devrait croître à moyen et à long terme si le prix des différentes sources d'énergie demeure élevé (Lease *et al.*, 2008).

Actuellement, on observe une activité importante dans la création d'usines de granules fabriqués à partir de fibres agricoles au Canada. Certains producteurs utilisent des provenderies déjà en place pour produire des granules à partir de résidus de mouture destinés au chauffage commercial. D'autres exportent des granules à l'étranger pour les centrales électriques d'Europe. Dans plusieurs régions des Pays-Bas et de l'Allemagne, il est plus économique d'importer des granules du Canada que de faire pousser des cultures énergétiques. Les coûts de transport maritime à partir de la région des Grands Lacs sont évalués entre 35 et 50 \$ la tonne (IREF, 2008). Les principaux avantages liés au développement du marché de l'exportation des granules résident dans la forte demande et les prix élevés en raison des systèmes d'échange des droits d'émissions de carbone en place en Europe, de même qu'une plus grande marge financière toute l'année au lieu de dépendre uniquement du marché du chauffage domestique.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

L'utilisation des granules à des fins énergétiques est de plus en plus populaire en Amérique du Nord et en Europe. Le marché québécois s'avère limité et plusieurs producteurs sont bien implantés. Aucun phénomène ne laisse entrevoir une croissance du marché québécois (prix de l'énergie bas et aucune mesure incitative), si bien que les manufacturiers doivent baser leur modèle d'affaires sur les marchés d'exportation (Roche ingénieurs-conseils, 2007). Le Québec est très favorisé avec des coûts parmi les plus faibles d'énergie électrique. Par conséquent, la motivation de base de la majorité des pays ayant adopté des politiques énergétiques favorisant la bioénergie est peu applicable au Québec malgré la mise en place de la stratégie énergétique et du Plan d'action sur les changements climatiques.

Investissement requis

Une usine de densification de biomasse agricole est quasi identique à une usine de densification de produits forestiers. Les investissements requis pour construire une usine capable de traiter 100 000 tonnes par an de biomasse forestière sont de l'ordre de 15 M\$. Dans le cas d'une usine dédiée à la fabrication d'agrogranules, certains investissements pourraient être exclus (écorceuse, séchoir), ce qui réduit les sommes nécessaires à environ 13 M\$ (Lease *et al.*, 2008). D'après l'IREF (2008), une usine type pouvant produire environ 100 000 tonnes par an de granules destinées au chauffage coûte environ 7 M\$.

Coûts d'opération

Les coûts d'opération vont varier en fonction de la biomasse à conditionner. En effet suivant le type de biomasse, les conditions de traitement vont être différentes, ce qui aura une incidence directe sur le coût des opérations.

TABLEAU 19 – COÛTS D'OPÉRATION SELON LE TYPE DE BIOMASSE

Opération	Résidus forestiers (\$/t)	Panic érigé (\$/t)	Saule (\$/t)
Approvisionnement	54	73 à 90	58 à 85
Séchage	12	0	15
Coût de granulation	59	25 à 40	39 à 50
Ensachage	19	19	19
Coût total	124	117 à 149	132 à 170

Source : Brodeur *et al.*, 2008b

Coûts de transport et de manutention des produits finis

Les coûts de transport représentent une part importante étant donné l'éloignement des clientèles commerciales.

Rentabilité probable

La rentabilité dépend de différents facteurs, soit l'approvisionnement en biomasse de qualité à proximité, de façon à réduire les coûts de transport, le prix de vente ainsi que le coût de production (Lease *et al.*, 2008).

Enjeux – Approvisionnement

La biomasse agricole est peu disponible actuellement. Son avantage réside dans le fait qu'on puisse s'assurer d'un approvisionnement fixe annuel. Cependant, un temps d'attente de 2 à 3 ans est nécessaire pour atteindre un rendement suffisant au démarrage.

Enjeux - Éléments techniques

Le principal problème lié à l'utilisation de la biomasse agricole pour la combustion est que, contrairement au bois, elle génère un encrassement prématuré de la chaudière en raison de ses propriétés chimiques. Les récentes innovations dans le domaine des systèmes de combustion de la biomasse, associées à une meilleure compréhension des stratégies pour améliorer la qualité de la biomasse agricole, permettent l'émergence d'un nouveau secteur bioénergétique potentiellement important.

Enjeux - Problématiques commerciales

Un autre enjeu est que tout reste à faire en matière de mise en marché de la production de granules à partir de plantes énergétiques ou de résidus agricoles. Les producteurs agricoles qui font le choix de se lancer dans ce type de production doivent donc assumer leur propre mise en marché et ne peuvent compter pour l'instant sur des réseaux organisés ou sur des associations pour les soutenir.

Enjeux - Aspects réglementaires

D'après le MDDEP, la combustion de biomasse requiert un certificat d'autorisation du Ministère et dans le cadre de ce certificat, une caractérisation des émissions atmosphériques sera requise ainsi qu'une analyse de la biomasse. Sous toute réserve, dans le cas où le Ministère accepterait que le brûlage se fasse dans un appareil dont la capacité calorifique est inférieure à 3 MW, on pourrait appliquer les normes d'un incinérateur, soit une norme d'émission des particules de 50 mg/m.c. Également, si l'appareil a une capacité inférieure à 1 t/h, deux chambres à combustion sont requises. Pour un appareil de capacité supérieur à 1 t/h, la norme d'émission de particules est de 20 mg/m.c. D'autres normes sont également applicables.

Les granules énergétiques sont soumis à des critères de qualité répondant aux différents marchés. En Amérique du Nord, ceux-ci correspondent à la catégorie Premium, constituée presque exclusivement de fibres ligneuses et ayant un taux de cendres de moins de 1 %, ainsi qu'à la catégorie Standard, permettant une petite proportion de composantes de biomasse autre que la matière ligneuse et ayant un taux de cendres de moins de 3 %. Au Canada et aux États-Unis, la qualité des granules est régie par le Pellet Fuels Institute. La norme nord-américaine est présentement en révision et pourrait se voir ajouter une catégorie « Super Premium » destinée au marché résidentiel qui ne permettrait que 0,5 % de cendres (Roche ingénieurs-conseils, 2007).

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Différentes orientations et mesures gouvernementales québécoises pourraient favoriser le développement du secteur des agrogranules. Le Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec prévoit une somme de 24 millions de dollars sur six ans afin de bonifier le programme Prime-Vert pour la réalisation de projets visant la valorisation énergétique de la biomasse agricole. La Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation du gouvernement du Québec a prévu une somme de 104 M\$ pour le développement de nouvelles technologies stratégiques, notamment dans les secteurs de l'énergie et de l'environnement.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Les différentes cultures de biomasse énergétique n'ont pas toutes le même rendement énergétique comme on peut le constater ci-dessous.

TABLEAU 20 – RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE SELON LE TYPE D'ÉNERGIE OU DE BIOMASSE

Combustible		Valeur calorifique moyenne (GJ/t)
Énergie fossile		
Gaz naturel		50
Huile n° 2 (huile à chauffage)		45,5
Biomasse		
Granules de bois		20,3
Panic érigé récolté en automne		18,2 à 18,8
Panic érigé récolté au printemps		19,1
Paille de blé		18,6 à 18,8
Épis de maïs (résidus d'émondage)		18,1
Résidus d'avoine		18,1
Remoulage de blé		17,8
Tiges de maïs		15,8

Source : Brodeur *et al.*, 2008b

Les granules combustibles fabriqués à partir des plantes pérennes agricoles représentent une source d'énergie renouvelable qui pourrait être développée au Québec. Il faut toutefois se référer aux aspects réglementaires sur les émissions atmosphériques.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Jusqu'à maintenant, la biomasse approvisionnant l'industrie québécoise de la granule provenait surtout de l'industrie de la seconde transformation du bois. Cependant, la demande générée par ce créneau industriel s'est exercée dans un contexte de rareté de cette matière première, alors que des demandes importantes provenaient déjà de l'industrie des panneaux composites (Roche ingénieurs-conseils, 2007). De plus, le secteur forestier traverse une forte crise qui diminue l'offre de sous-produits forestiers. Considérant la hausse du coût de la matière première causée par cette forte demande en sous-produits, il est intéressant de se pencher sur de nouvelles alternatives. Les cultures lignocellulosiques (saule à croissance rapide, peuplier hybride, panic érigé, *Miscanthus giganteus* et alpiste roseau) constituent des sources d'approvisionnement prometteuses. Il existe aussi en complément les principaux résidus de mouture commercialisés pour la production de chaleur qui proviennent du son de blé, des balles d'avoine et des anas de lin. Ces résidus sont généralement secs et uniformes et leur pourcentage en potassium et en chlore est moyennement faible. Dans une certaine mesure, les épis de maïs et les balles d'orge sont aussi utilisées pour la densification. Au Canada, on estime à 1,5 million de tonnes la production de résidus de mouture (Samson *et al.*, 2006).

Évaluation de la valeur du produit fini

Les principaux avantages de densifier la biomasse agricole en granules sont les suivants : augmentation de la valeur calorifique, manutention plus facile, diminution du coût de transport au final pour les clients, plus facile et plus propre à entreposer, uniformité du produit, meilleure fluidité dans les systèmes automatiques d'alimentation des systèmes de chauffage, et 50 % moins d'émissions de particules que les bûches traditionnelles de bois. La valeur calorifique est de 20,3 GJ/t pour des granules faites à partir de bois comparativement à 18,8 GJ/t pour les granules faites à partir de paille de blé. Les granules faites à partir de biomasse agricole obtenant la meilleure valeur calorifique sont celles fabriquées à partir de panic érigé récolté au printemps. Cette valeur calorifique est de 19,1 GJ/t.

Il est important de souligner que la qualité d'un granule énergétique dépend directement de ses caractéristiques (valeur énergétique, taux d'humidité et taux de cendre). Ainsi, un granule de bonne qualité aura un taux faible de cendre, d'humidité et une valeur énergétique élevée.

Durant la saison de chauffage hivernal 2006-2007, en Ontario, les granules faits de résidus de mouture se vendaient entre 110 et 120 \$ la tonne à l'industrie du chauffage des serres (IREF, 2008). Le marché des granules touche aussi la litière pour animaux avec des prix d'environ 200 \$/tonne. Les réseaux de distribution sont principalement les magasins spécialisés au Québec et les magasins à grande surface aux États-Unis (Roche ingénieurs-conseils, 2007).

Filières concurrentes et complémentaires

Les filières concurrentes aux agrogranules sont les granules de biomasse forestière et les autres systèmes de chauffage qui utilisent différentes ressources énergétiques telles que le charbon minéral, l'énergie nucléaire et électrique, le gaz, etc. Les fluctuations du prix du baril de pétrole ainsi que son impact sur l'environnement amènent la société à tenter de réduire autant que possible sa dépendance envers les combustibles fossiles et de trouver des solutions de rechange. Contrairement aux combustibles fossiles, les biocombustibles sont considérés comme neutres en carbone : le CO₂ rejeté lors de leur utilisation est compensé par le CO₂ absorbé par les plantes en croissance. Par conséquent, substituer des combustibles fossiles avec de la bioénergie permet non seulement de réduire les émissions de carbone dans l'atmosphère, mais représente également une belle opportunité d'affaires pour les agriculteurs.

Les terres agricoles du Québec ont la capacité de produire des quantités importantes de biomasses à partir des cultures pérennes. En outre, plusieurs producteurs ont démontré un intérêt pour ces cultures. La culture des plantes pérennes pour la production de biocombustible a de nombreux impacts environnementaux positifs et permettrait de valoriser les bandes riveraines de même que les terres marginales.

Par ailleurs, le prix d'une tonne de résidus de bois a augmenté de 150 % au cours des quatre dernières années. De plus, le volume de matières premières disponible a tellement diminué que l'offre est devenue inférieure aux besoins de l'industrie, créant ainsi une pression indue sur le marché de la biomasse et une rareté de la matière (Boralex, 2008). L'utilisation de biomasse agricole pour la fabrication de granules devient donc une option intéressante.

CARBONISATION - BIOCOMBUSTIBLE SOLIDE – BIOCHARBON

Brève description du procédé

La carbonisation est un procédé de décomposition thermique lente de la biomasse en l'absence d'air. Elle génère du biocharbon comme produit principal ainsi que du goudron, des cendres et des gaz comme sous-produits. Contrairement à la pyrolyse qui transforme la biomasse en biohuile (température modérée et temps de résidence très court) et à la gazéification qui la transforme en gaz de synthèse (température élevée et temps de résidence très élevé), la carbonisation (faible température et temps de résidence très long) a pour objectif de maximiser le rendement en biocharbon. Le rendement en biocharbon dépend de la matière première et de la technologie utilisée. La matière première doit être riche en carbone. Le rendement en biocharbon dans les unités modernes de carbonisation de la biomasse lignocellulosique est de l'ordre de 28 à 35 % par rapport à la matière première. Ce rendement est limité par l'équilibre thermochimique des réactions de décomposition. Contrairement au biocharbon, le charbon minéral contient une quantité importante de soufre et de mercure. La combustion du charbon minéral est très polluante par rapport à celle du biocharbon dont les émissions en dioxyde de carbone sont considérées comme neutres. Le biocharbon est utilisé pour sa faible teneur en soufre, son grand ratio carbone/cendres, sa grande surface spécifique, son pouvoir réducteur et sa combustion sans fumée.

Outre le biocharbon, la carbonisation génère une quantité importante de vapeurs constituées de gaz incondensables riches en CO₂, CO, H₂ et CH₄, du goudron et des cendres. Le goudron, qui est riche en carbone, constitue une perte en rendement de charbon et une source de pollution pour l'air et l'eau. Les usines qui ne sont pas équipées pour la récupération des vapeurs dégagées lors de la carbonisation éprouvent des problèmes techniques causés par l'accumulation du goudron dans les lignes de transfert. Les technologies modernes ont partiellement pallié ces inconvénients.

L'usine de carbonisation en continu comprend généralement un espace pour le stockage et le prétraitement de la matière première, un espace pour la carbonisation et un espace pour le stockage du biocharbon et des cendres.

L'unité de prétraitement est constituée d'un broyeur et d'un tamis. L'unité de carbonisation comprend un système d'alimentation, un réacteur, un système de refroidissement et un cyclone. L'espace réservé au biocharbon comprend l'ensachage et l'aire de stockage. L'usine est munie de systèmes de récupération du goudron et des cendres.

Rendements en bioproduits et en coproduits

Le rendement en biocharbon dépend de la qualité de la matière première utilisée. Plus la matière première est riche en carbone fixe, plus le rendement en biocharbon sera élevé. Le rendement en biocharbon des technologies modernes peut atteindre 35 - 40 %. Le rendement des fours classiques atteint au maximum 30 %. Les coproduits tels que les gaz, le goudron, les cendres et la vapeur d'eau constituent 60 à 70 % du rendement total.

Les usines existantes

Il existe plusieurs technologies de fabrication de biocharbon à partir de la biomasse. Ces technologies se distinguent les unes par rapport aux autres par le concept de fabrication, le mode de chauffage, la pression, la matière première utilisée et l'utilisation du biocharbon fabriqué. Plusieurs technologies sont au stade de la commercialisation et plusieurs autres sont en développement. La plupart des procédés industriels sont brevetés. Les procédés qui existent à l'échelle industrielle sont : le procédé qui utilise des fours de Missouri (Argentine, États-Unis), le procédé qui utilise des fours en forme de ruche (Brésil), le procédé VALBOIS (France), le procédé VMR (France, Belgique et États-Unis), le procédé CG 2000 Carboniser (Hollande, Estonie, Ghana et Chine), le procédé Reichert (Allemagne), le procédé Lambiotte (France, Belgique), le procédé Lurgi (Australie), la technologie de Carbolisi ou O.E.T Calusco carbonisation process (Italie), le procédé de Carbon Diversion Inc. (CDI) (États-Unis), le procédé Thermya (France) et la technologie Golden Green – Alkmaar (Afrique du Sud et Canada). En Europe, la France, le Portugal, la Grèce et l'Italie sont les plus grands fabricants de biocharbon.

Marchés déjà desservis

Au Québec, la plus grande utilisation du biocharbon est réservée à l'industrie culinaire pour cuire les aliments au barbecue. L'industrie de la métallurgie, qui est très développée au Canada, utilise le charbon minéral. Une substitution de ce combustible par du biocharbon aurait un impact considérable sur l'environnement et contribuerait au développement durable par le fait qu'il participerait à la réduction des émissions de GES.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Le biocharbon est utilisé dans :

- l'industrie chimique pour la fabrication de bisulfures de carbone, de cyanures de sodium et de carbures;
- la métallurgie pour l'extraction du fer, la production d'alliages fer/silicium et du silicium pur, comme agent de purification des métaux non ferreux (cuivre, étain) et pour l'enrichissement des minerais;
- la fabrication de charbon actif, produit qui est utilisé pour la purification de l'eau et des gaz, pour le contrôle de la pollution, pour la récupération des solvants, dans les industries pharmaceutique et alimentaire, et dans l'industrie du sucre;
- la cuisson au barbecue et le chauffage;
- l'agriculture pour le conditionnement des sols.

La consommation de charbon minéral du Canada s'est élevée à 58 millions de tonnes en 2006. La plus grande partie (51 millions) était destinée à la production d'électricité. Le charbon minéral qui ne sert pas à produire de l'électricité est consommé, entre autres, par les industries canadiennes de l'acier et du ciment. Une substitution partielle de ce charbon minéral par le biocharbon contribuerait au développement durable et réduirait les émissions de GES.

La carbonisation peut utiliser des matières premières qui sont disponibles au Québec comme les résidus agricoles (foin, paille, tiges de canola, de maïs, etc.), les résidus de transformation agroalimentaire (écales de blé, coques de noix, etc.), les résidus forestiers (résidus de coupe, résidus d'aménagement, bois de friche, etc.) et les plants à croissance rapide (peuplier hybride, miscanthus, saule, etc.). Il est important de souligner qu'il faut toujours déterminer les conditions opératoires pour chaque mélange de matières premières utilisées.

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Le Canada est parmi les rares pays exportateurs de bois, de produits agricoles et de minerais qui n'ont pas de technologie de fabrication de biocharbon.

La carbonisation est un procédé ayant une rentabilité économique et environnementale assez intéressante, notamment dans le cas de l'exportation d'une certaine partie de la production de biocharbon. Cela se traduirait par une valorisation intelligente des résidus issus de l'industrie agroforestière. Ce procédé peut facilement s'implanter dans les régions ressources du Québec.

Le procédé de carbonisation est une alternative de production de bioénergies qui peut être adaptée aux contraintes des milieux ruraux. Les producteurs agricoles et forestiers sont souvent actifs dans des domaines différents (différentes cultures donc différents résidus). Également, les producteurs sont souvent éloignés les uns des autres, ce qui cause des problèmes d'approvisionnement ainsi que des coûts élevés de transport de la matière première.

Les petits producteurs agricoles et forestiers pourront s'associer en coopératives ou créer une entreprise afin de surmonter les obstacles dus au manque de volume et au coût de transport. Ils pourront construire une usine qui sera capable d'absorber les différents résidus en créant des systèmes de collecte, de transport et de distribution.

La carbonisation peut être en amont de la gazéification et en aval de la transestérification, la fermentation et la méthanisation. En effet, le biocharbon peut être gazéifié de même que le tourteau (toutefois utilisé en alimentation animale) et les résidus solides et le digestat peuvent être utilisés comme matières premières pour la carbonisation.

Il est souhaitable de carboniser des résidus agricoles en mélange avec des résidus forestiers pour avoir un bon rendement en biocharbon de qualité appréciable. Le foin et la paille étant essentiellement produits au cours de l'été, les producteurs devront envisager un mode d'entreposage permettant l'approvisionnement de l'usine tout au long de l'année.

Pour ce qui est du choix des technologies de fabrication de biocharbon à implanter au Québec, il est important de connaître l'usage du biocharbon que l'on fabrique. Si c'est pour produire du biocharbon massif, les fours Missouri et les fours brésiliens sont très appropriés. Si c'est pour produire du biocharbon à granulométrie plus petite, on peut choisir le procédé Lambiott, le procédé Lurgi ou le procédé de Carbon Diversion Inc.

De par sa simplicité et son coût d'investissement, le procédé Thermya peut être implanté dans les milieux ruraux. Il faut cependant s'assurer que le procédé soit mis au point à l'échelle commerciale.

Investissements requis

Les investissements requis pour une unité de carbonisation dépendent de la capacité de production de l'usine et de la technologie utilisée. Ainsi, une unité de Carbon Diversion Inc. de 4 t/jour (8 heures) coûte environ 100 000 \$.

Il est important de noter que parmi les technologies de thermoconversion de la biomasse, la technologie de carbonisation est économiquement la plus abordable.

Coûts d'opération

Les coûts d'opération dépendent du coût variable (coût de la matière première, coût d'investissement, coût de la main-d'œuvre, coût de l'électricité, coût d'entreposage) et du coût fixe (coûts de maintenance et d'administration) respectivement estimés à 2,5 % et 2 % du coût d'investissement de l'usine. L'entreposage du biocharbon s'ajoute aux coûts variables d'opération. Comme le biocharbon est facilement auto-inflammable, son stockage nécessite des précautions supplémentaires.

Coûts de transport et de manutention des produits finis

L'un des avantages du procédé de carbonisation est l'enrichissement de la biomasse en carbone. En effet, la biomasse occupe généralement un grand volume, et son transport pose des problèmes de logistique, de consommation d'énergie et de pollution (GES). Une fois transformée en biocharbon, la biomasse acquiert une grande densité énergétique. Elle devient transportable à des coûts très réduits et est utilisable dans des installations existantes de combustion de combustibles solides ou en mélange avec du mazout lourd. Pour minimiser les coûts de transport, la matière première doit être située à proximité de l'usine (rayon d'approvisionnement maximal approximatif de 100 km).

Rentabilité probable

La consommation mondiale de charbon a été estimée en 1996 à environ 100 millions de tonnes par an. Le prix du charbon varie beaucoup. Dans les pays développés, il varie entre 90 et 180 \$/tonne, mais il peut dépasser 400 \$/tonne en Afrique. Récemment, le coût du charbon de bois était de 200 \$/tonne aux États-Unis. L'industrie de ferrosilicium de Norvège a payé 440 \$ la tonne de carbone fixe. Il faut noter que le prix US de 200 \$/tonne est équivalent à environ 6,3 \$/GJ ou 36 \$/baril de pétrole.

Les bénéfices d'une usine de carbonisation seront calculés sur la base du prix de vente du charbon en sac fixé à 150 à 200 \$/tonne et de celui de la matière première prête à carboniser à 70 \$/tonne. Considérant que le coût de la matière première (foin et paille) livrée à l'usine est habituellement supérieur à ce prix, ce procédé pourrait connaître des problèmes de rentabilité financière dans le contexte québécois.

Enjeux - Approvisionnement

Similairement à la filière de la gazéification, celle du biocharbon nécessite un approvisionnement constant en matière première.

Enjeux - Éléments techniques

Il faut éviter de stocker le biocharbon en vrac dans un milieu humide, car il risque de prendre feu. Il faut bien contrôler la température dans le réacteur et la température du biocharbon à sa sortie. Les procédés qui donnent un rendement élevé en biocharbon « flash carbonisation » de Carbon Diversion Inc. sont encore au stade d'expérimentation.

L'éloignement des lieux de récolte par rapport à l'unité de pyrolyse; le rapport volume/masse, l'humidité élevée, la contamination du sol par les minéraux, le pourrissement de la biomasse et la réduction de sa masse organique constituent des contraintes spécifiques pour la collecte des intrants.

La teneur en cendres dans la matière première est une caractéristique à contrôler, car elle affecte la qualité du biocharbon. Une teneur en cendres élevée limite le champ d'application du biocharbon aux usages non onéreux.

Enjeux - Problématiques commerciales

La vente et la distribution du biocharbon sont conditionnées par ses caractéristiques. Présentement, le réseau de distribution du biocharbon est assuré par les compagnies qui le produisent. Ce matériau est transporté directement vers les utilisateurs (grands consommateurs) sans passer par les distributeurs.

À court terme, le biocharbon sera utilisé pour l'amendement des sols ou vendu aux métallurgistes (ex. : Silicium Bécancour, Trois-Rivières). Il peut aussi être utilisé comme combustible pour produire de la chaleur ou de l'électricité (municipalités et instances gouvernementales). À moyen terme, les bioraffineries et les fabricants de charbon actif seront les plus grands acheteurs de ce produit.

Enjeux - Aspects réglementaires

Une demande de certificat d'autorisation devra être déposée auprès du MDDEP avant de procéder à la mise en place de l'unité de carbonisation. Divers règlements pourront être appliqués en fonction de l'équipement et du site retenu, du type d'émissions générées, de l'entreposage, de la distribution et des usages du biocharbon. Dû à son auto-inflammabilité, le biocharbon est considéré comme matière dangereuse et est donc soumis aux règlements concernant la gestion et le transport de ce type de matières.

Le site de production doit être loin des habitations (voir la réglementation environnementale) pour éviter d'incommoder les résidants avec les odeurs et les risques de poussière. Selon les normes environnementales québécoises qui régissent la qualité de l'air, le broyeur et le réacteur doivent être équipés d'un système de captage de poussières fines.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Le procédé de carbonisation peut valoriser une matière première constituée d'un mélange de résidus forestiers et agricoles pourvu que ces derniers aient les propriétés requises. Les propriétés physicochimiques, la valeur calorifique, la teneur élevée en carbone et la structure microporeuse font du biocharbon un produit très demandé en agriculture, en sidérurgie, en métallurgie, en industrie chimique, en pharmaceutique, etc. Ces multiples usages assurent la pérennité de la technologie du biocharbon au Québec. Le biocharbon n'a pas besoin d'être subventionné pour être commercialisé.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Comme le processus de carbonisation est une combustion lente de la biomasse (réaction exothermique), le procédé doit être énergétiquement autosuffisant. Si le but final est de produire de l'énergie avec du biocharbon, le bilan énergétique de la technologie est négatif. Le biocharbon peut être utilisé pour la réduction des métaux ou pour la fabrication de produits spéciaux à grande valeur commerciale.

La carbonisation de la biomasse lorsqu'elle est bien conduite est un procédé qui respecte les normes environnementales. Les gaz seront récupérés et brûlés, les goudrons recueillis et valorisés et les cendres retournées aux sols agricoles comme engrais minéraux.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les cultures herbacées ou ligneuses telles que le panic érigé, le miscanthus, le saule et le peuplier pourront être valorisées via le procédé de carbonisation. Les productions végétales génèrent également de grandes quantités de résidus ligneux principalement sous forme de pailles ou de fourrages. Il peut s'agir des pailles issues des cultures céréalières et oléagineuses ainsi que des résidus de cultures fourragères de moindre qualité. Le principal problème de ce type de résidus réside dans la difficulté d'évaluation des quantités disponibles.

Les cultures dédiées destinées à la fabrication de biocharbon ne peuvent être considérées comme des résidus. Toutefois, ce type de biomasse peut être utile pour assurer un approvisionnement constant et ainsi permettre la réalisation d'un projet de production de biocharbon en milieu rural.

Une tonne de foin générerait, dans un procédé performant, entre 250 et 300 kg environ de charbon qui a une valeur marchande d'environ 150 à 200 \$/tonne. Dépendant du prix de la matière première, ce contexte d'approvisionnement et de commercialisation du produit fini pourrait ne pas engendrer la rentabilité financière du procédé.

Évaluation de la valeur du produit fini

Le biocharbon sera caractérisé en termes de teneur en composés organiques volatiles, en cendres et en carbone fixe. Les propriétés du biocharbon permettront de définir son usage final. Le biocharbon est demandé dans l'industrie métallurgique, l'industrie des absorbants, l'industrie chimique pour la fabrication de bisulfures de carbone, de cyanures de sodium et de carbures; la production d'alliages fer/silicium et de silicium pur, comme combustible solide, pour la fabrication d'électrodes, pour la fabrication de charbon actif, dans les industries pharmaceutique et alimentaire et comme agent de conditionnement des sols. L'entreprise pourra par exemple, vendre son biocharbon à Silicium Bécancour pour produire du silicium métallique et du ferro-alliage de silice, aux centrales fonctionnant au charbon minéral, et aux chaufferies qui utilisent des combustibles solides. Rappelons que la consommation de charbon minéral du Canada s'est élevée à 58 millions de tonnes en 2006. La plus grande partie (51 millions de tonnes) était destinée à la production d'électricité. Le charbon minéral qui ne sert pas à produire de l'électricité est consommé, entre autres, par les industries canadiennes de l'acier et du ciment.

Filières concurrentes et complémentaires

La paille et le foin peuvent être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, des panneaux de haute densité, pour la fabrication d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), pour la méthanisation, pour la gazéification, pour la fabrication de litière, pour nourrir le bétail, etc. Aujourd'hui, la fermeture des scieries crée une pénurie de copeaux de bois comme matière première pour la fabrication de panneaux de particules et de granules. La demande pour d'autres fibres alternatives comme le foin, la paille et les plantes à croissance rapide devient de plus en plus importante.

Filières se livrant compétition pour les mêmes composés et matières premières

Les filières qui sont en compétition avec la carbonisation pour les résidus agricoles incluent la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la gazéification, la méthanisation et la fermentation, ainsi que la fabrication de litière, de panneaux isolants.

Filières complémentaires

Le biocharbon est aussi un intrant pour la gazéification. La carbonisation peut utiliser, comme matière première, les résidus solides des procédés de fermentation et de méthanisation ainsi que les litières usées pour produire du biocharbon. Ce sont des variantes de bioraffineries.

PYROLYSE - BIOCOMBUSTIBLE LIQUIDE – BIOHUILE

Brève description du procédé

La pyrolyse est un procédé qui sert à décomposer une substance organique solide comme la biomasse végétale, sous l'effet de la chaleur et en déficit d'air, en liquide (biohuile), solide (biocharbon) et gaz. Tous les produits générés par ce procédé sont combustibles. Le gaz est généralement utilisé dans le procédé lui-même comme source d'énergie. Les produits du procédé de pyrolyse sont la biohuile, le biocharbon et des gaz incondensables.

Les balles de foin et de paille broyées finement sont tamisées puis séchées à 7 à 12 % d'humidité avant d'être introduites à l'aide d'un convoyeur dans le réacteur de pyrolyse. Sous l'effet de la chaleur et en l'absence d'air, la biomasse perd tout d'abord son humidité et ses composés organiques volatiles puis elle commence à se décomposer en petits fragments. La décomposition de la biomasse génère un effluent gazeux composé de vapeurs, de gaz et de particules solides (selon le type de procédé utilisé). Cet effluent passe à travers un cyclone en vue de capter les particules solides puis pénètre dans un système de condensation d'où il sort sous forme de liquide (biohuile) et de gaz incondensables. La biohuile est utilisée comme combustible ou comme matière première pour la fabrication de bioproduits. Les gaz incondensables sont utilisés dans le procédé comme source d'énergie pour sécher la matière première ou pour chauffer la zone réactionnelle.

L'usine de pyrolyse est composée de cinq parties : un espace pour le stockage de la matière première, un espace pour le prétraitement de la matière première, un espace pour la pyrolyse, un espace pour le post-traitement et le stockage des huiles et un espace pour le stockage du biocharbon. L'unité de prétraitement est constituée d'un broyeur, d'un tamis et d'un séchoir. L'unité de pyrolyse comprend un système d'alimentation, un réacteur, un cyclone et un condenseur. Les huiles seront stockées dans des réservoirs appropriés et pourront subir des post-traitements dans cet espace. L'espace réservé au biocharbon comprend l'ensachage et l'aire de stockage. L'usine est munie d'un système de récupération des gaz de pyrolyse pour sécher la matière première ou chauffer le milieu réactionnel.

Rendements en bioproduits et en coproduits

À partir de la biomasse (bois), les procédés de pyrolyse génèrent en moyenne 60 à 65 % de biohuile, 20 à 25 % de biocharbon et 10 à 15 % de gaz. Pour les résidus agricoles, le rendement en huile est moins élevé. Il tourne autour de 50 % en moyenne.

Les usines existantes

Plusieurs technologies existent sur le marché, parmi lesquelles, au Canada :

- Ensyn Technologies Inc. dont le siège social est en Ontario exploite une usine pilote en Italie;
- Dynamotive, dont le siège social est en Colombie-Britannique a une usine à West Lorne (130 t/j), une usine à Guelph (200 t/j), une usine en Argentine (200 t/j) et un projet d'usine en Chine (200t/j));
- Advanced BioRefinery Inc. (ABRI) a une unité pilote en Ontario de 100 tonnes par jour;
- Agri-THERM Ltd a une unité pilote d'une capacité de 3,2 t/h en collaboration avec l'Université d'Ontario;

Aux États-Unis, des usines de plus grande capacité existent :

- RES LLC Thermal conversion Process (TCP) ayant des usines de 250 t/j (Carthage, Missouri);
- SlurryCarb™Process, avec une usine en Californie (883t/j), une unité pilote en Géorgie (1,6 t/j) et une usine au Japon (20 t/j);
- Procédé BTG, une technologie hollandaise utilisant un réacteur conique tournant (200 kg/h).

Les informations concernant le coût de production et l'investissement sont, à ce jour, confidentielles.

Marchés déjà desservis

La biohuile peut être brûlée directement pour produire de la chaleur, être brûlée dans des chaudières ou des turbines pour produire de l'électricité, ou être utilisée comme matière première pour toute une gamme de produits chimiques et de résines naturelles. La biohuile peut être facilement manipulée ou stockée pendant des périodes limitées.

Les biohuiles fabriquées sont pour l'instant utilisées pour la fabrication d'électricité, à l'aide des turbines à gaz, et de produits à haute valeur ajoutée.

Puisque la technologie liée à la biohuile est encore aux premières phases de mise en marché, elle ne contribue pas encore de façon importante à l'approvisionnement énergétique total du Canada. La biohuile contient plus de 200 produits chimiques dont certains ont une valeur élevée sur le marché, tandis que d'autres peuvent être indésirables, voire toxiques.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Il se consomme au Québec plus de 2 milliards de litres de mazout lourd par an. Le gouvernement du Québec vise une diminution de la consommation provinciale de mazout lourd de 510 millions de litres. C'est un débouché potentiel pour la biohuile.

La technologie de production de biohuile par pyrolyse n'a pas encore franchi l'étape de fabrication d'unités de faible capacité, techniquement viables, économiquement rentables et socialement acceptables. Les études ont montré que pour qu'une unité de pyrolyse soit économiquement rentable, il faut que sa capacité de transformation soit supérieure à 50 t de biomasse sèche par jour.

Les compagnies canadiennes Dynamotive et Ensyn Technologies Inc. opèrent à l'échelle commerciale. Elles ont implanté des usines au Canada, aux États-Unis, en Europe et en Chine. Ces usines utilisent des matières premières qui sont disponibles au Québec comme les résidus agricoles (foin, paille, tiges de canola et de maïs, lisier de porcs, fumier de volaille, etc.), les résidus de transformation agroalimentaire (écaillés de blé, coques de noix, graisse, huiles végétales, etc.), les résidus forestiers (résidus de coupe, résidus d'aménagement, bois de friche, etc.) et les plantes à croissance rapide (peuplier hybride, miscanthus, saule, etc.).

La matière première doit avoir une faible teneur en humidité (8 à 12 %), une faible teneur en minéraux (sable, poussière, cailloux, etc.) et une granulométrie définie selon la technique de pyrolyse utilisée. Plus les particules sont fines (farine) et le transfert de chaleur élevé, plus grand est le rendement en biohuile. Il est important de souligner qu'il faut toujours déterminer les conditions opératoires pour chaque mélange de matières premières utilisées.

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Les procédés de thermoconversion, en particulier la pyrolyse, permettent de valoriser des matières premières provenant du milieu rural en raison de la grande variété de biomasses pouvant être utilisées. Cependant, l'approvisionnement en résidus ainsi que leur transport à faible coût posent encore problème.

Les petits producteurs agricoles et forestiers pourront créer une entreprise afin de surmonter les obstacles dus au manque de volume et au coût de transport. Ils pourront construire une usine qui sera capable d'utiliser différents résidus en créant des systèmes de collecte, de transport et de distribution. Éventuellement, les produits de pyrolyse pourront être acheminés vers des bioraffineries qui les transformeront en multiples bioproduits à valeur ajoutée. À court terme, l'huile pyrolytique pourra remplacer l'huile à chauffage, le mazout lourd, le gaz naturel et l'électricité pour chauffer les bâtiments municipaux, les centres communautaires et industriels et les serres. À long terme, cette huile pourra alimenter les moteurs diesel lents et rapides. Beaucoup de travaux de recherche sont justement orientés vers la transformation de ces huiles en carburant de transport.

La pyrolyse peut être en amont de la gazéification et en aval de la transestérification et de la fermentation. En effet, l'huile pyrolytique peut être gazéifiée et la glycérine (résidu de la transestérification) peut être utilisée comme matière première pour la pyrolyse.

La pyrolyse de la glycérine donnerait un produit final composé à 93 % de gaz de synthèse (Biocap Canada, 2006). Le tourteau, un co-produit de la trituration, peut être commercialisé en tant qu'aliment pour les animaux de ferme. Le charbon de bois peut aussi être utilisé comme matière première dans le procédé de gazéification pour produire de l'hydrogène.

Il y a des procédures, des infrastructures et des coûts associés aux différents post-traitements.

Le foin et la paille étant essentiellement produits au cours de l'été, les producteurs devront envisager un mode d'entreposage permettant l'approvisionnement de l'usine à l'année. L'entreposage pourra être assuré sur un site unique ou par les producteurs fournissant la matière première.

Investissements requis

Les investissements sont variables selon la capacité de l'usine et la technologie utilisée. Pour la technologie ABRI, les investissements requis pour une unité de pyrolyse de 50 t/j sont de 4 800 000 \$. Ils sont de 150 000 \$ pour une unité pilote de 1 t/j. Pour la technologie Dynamotive, une unité de 200 t/jour coûterait plus de 17 millions de dollars.

Coûts d'opération

Les coûts d'opération dépendent du coût variable (coût d'investissement, coût de la main-d'œuvre, coût de l'électricité, coût d'entreposage) et du coût fixe (coût de la maintenance et coût d'administration estimés respectivement à 2,5 % et 2 % du coût total de l'usine, incluant les investissements). L'entreposage de l'huile et du biocharbon s'ajoute aux coûts variables d'opération. Comme les biohuiles sont corrosives, les réservoirs de stockage et les citernes doivent être fabriqués en acier inoxydable ou en plastique (polypropylène, polyéthylène).

Coûts de transport et de manutention des produits finis

L'un des avantages du procédé de pyrolyse est la densification de la matière organique. En effet, la biomasse occupe généralement un grand volume et son transport pose des problèmes de logistique, de consommation d'énergie et de pollution (GES). Une fois transformée en liquide, la biomasse acquiert une grande densité énergétique. Elle devient transportable à des coûts très réduits et utilisables dans des installations existantes conçues pour les combustibles lourds.

La pyrolyse ne peut être rentable que si la biomasse est située à proximité de l'usine de transformation. Les usines de pyrolyse stationnaires sont rentables quand le contrat d'approvisionnement de matières premières dure au moins 5 à 7 ans.

Rentabilité probable

Selon la valeur calorifique des produits, le prix de vente de la biohuile brute qui provient de la biomasse ne doit pas dépasser la moitié du prix du mazout lourd. Il doit varier entre 0,30 et 0,40 \$/l environ. Parce qu'il est perçu comme ayant un impact environnemental moindre que le charbon minéral, le biocharbon pourrait avoir un prix identique ou supérieur (1,00-1,50 \$/kg) à celui-ci. Selon l'étude réalisée par Polagye *et al.* (2007), l'augmentation du coût d'investissement en capital de 40 % fait croître le coût de la biohuile de 12 % et c'est seulement les usines de plus de 500 tonnes par jour qui peuvent offrir un prix de vente de la biohuile supérieur au coût de sa production.

Selon cette étude, pour qu'une unité de pyrolyse soit rentable, il faut que sa capacité de traitement soit supérieure à 500 tonnes par jour. Une unité de pyrolyse d'une capacité de production de 7,5 tonnes à l'heure (180 tonnes par jour) nécessite un coût d'investissement en capital de 6 à 15,7 M\$. De plus, lorsque le coût de la matière première est nul, le coût de production est estimé à 102-205 \$/tonne, ou 8 à 16 \$/GJ.

Enjeux - Approvisionnement

Similairement à d'autres procédés à l'étude, la pyrolyse requiert un approvisionnement constant en matières premières. Il faut signer des contrats à long terme pour ne pas perturber le fonctionnement de l'usine, car les arrêts fréquents ne sont pas tolérés pour cette technologie.

Enjeux - Éléments techniques

Les biohuiles sont acides et irritantes. Il faut éviter tout contact avec la peau et les yeux. Les huiles seront stockées dans des contenants en acier inoxydable ou en plastique. Le biocharbon ne doit pas être stocké en vrac dans un milieu humide. Il risque de prendre feu. Les arrêts fréquents de l'unité de pyrolyse sont déconseillés par crainte de condensation des huiles qui pourrait conduire à l'obstruction des lignes de transfert, et par conséquent, le redémarrage deviendra plus difficile, plus lent et créera plus de pollution.

Il faut bien contrôler la température dans le réacteur ainsi que celle du biocharbon à sa sortie. Une procédure d'arrêt d'urgence est indispensable.

Enjeux - Problématiques commerciales

Présentement, le réseau de distribution des biohuiles n'existe pas au Québec. S'il est question de mélanger cette biohuile avec le mazout lourd, il faut prévoir un réservoir calorifugé muni d'un agitateur. Les biohuiles pourront par conséquent être distribuées par les compagnies pétrolières à travers le réseau de distribution du mazout lourd.

Pour ce qui est du biocharbon, les fabricants pourront se charger directement de la distribution aux utilisateurs (grands consommateurs) par camion, par bateau ou par train.

À court terme, les biohuiles serviront à produire de la chaleur et de l'électricité ou seront vendues comme substitut de l'huile à chauffage domestique. Le biocharbon pourra être utilisé pour l'amendement des sols ou vendu aux métallurgistes (ex. : Silicium Bécancour, Trois-Rivières). Il peut aussi être utilisé comme combustible pour produire de la chaleur ou de l'électricité (municipalités et instances gouvernementales).

À moyen terme, les bioraffineries seraient les plus grands acheteurs de biohuiles, car pour la production de gaz de synthèse par gazéification, ces huiles constituent une excellente matière première.

Enjeux - Aspects réglementaires

Similairement aux procédés précédemment décrits, une demande de certificat d'autorisation devra donc être déposée auprès du MDDEP avant de procéder à la mise en place d'une unité de pyrolyse.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Les contraintes spécifiques pour la collecte des intrants sont l'éloignement des lieux de récolte par rapport à l'unité de pyrolyse; le rapport volume/masse, l'humidité élevée, la contamination du sol par les minéraux, le pourrissement de la biomasse et la réduction de sa masse organique. Le procédé de pyrolyse peut valoriser un mélange de résidus forestiers et agricoles, pourvu que ces derniers aient les propriétés requises. La tendance mondiale des bioénergies et des bioproduits assure la pérennité de la technologie de pyrolyse.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

La pyrolyse nécessite un apport d'énergie pour compléter les réactions de décomposition thermique. Le bilan énergétique est donc neutre. Les produits et les sous-produits de la pyrolyse sont tous combustibles. Une bonne gestion de ces produits et sous-produits permettra au procédé de récupérer toutes les calories contenues dans la biomasse. Comme pour tous les procédés thermochimiques, la pyrolyse est une technologie propre si toutes les mesures environnementales sont prises.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les cultures dédiées, herbacées ou ligneuses, telles que le panic érigé, le miscanthus, le saule et le peuplier pourront être valorisées par le procédé de pyrolyse. Les résidus organiques d'origine animale et végétale peuvent également être utilisés.

Évaluation de la valeur du produit fini

Les biohuiles seront utilisées comme substitut du mazout lourd pour le chauffage, pour la production d'électricité et pour les moteurs diésels dits lents (ex. moteurs deux temps sur des navires). Elles pourront servir comme matière première pour la fabrication de bioproduits comme les biorésines et les produits pharmaceutiques. Les biohuiles seront également convoitées par les bioraffineries pour la production de gaz de synthèse par gazéification. Les entreprises de gazéification telles que Enerkem située en Estrie pourraient effectivement être intéressées par l'achat de la biohuile en vue de la gazéifier.

Filières concurrentes et complémentaires

La paille et le foin peuvent être utilisés pour la fabrication de panneaux d'isolation thermique, des panneaux de haute densité, pour la fabrication d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), pour la méthanisation, pour la gazéification, pour la fabrication de litière, pour nourrir le bétail, etc. Aujourd'hui, la fermeture des scieries crée une pénurie de copeaux de bois, matière première pour la fabrication de panneaux de particules et de granules. La demande pour d'autres fibres alternatives comme le foin, la paille et les plantes à croissance rapide devient de plus en plus importante.

Les filières qui sont en compétition avec la pyrolyse pour les résidus agricoles incluent la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la gazéification, la méthanisation et la fermentation, ainsi que la fabrication de litière, de panneaux de paille, de panneaux isolants, etc.

Les biohuiles issues de la pyrolyse sont aussi des intrants pour la gazéification. La pyrolyse peut aussi utiliser comme matière première les résidus solides des procédés de fermentation et de méthanisation ainsi que les litières usées pour produire des biohuiles et des bioproduits.

BIOMÉTHANISATION - BIOCOMBUSTIBLE GAZEUX – BIOGAZ

Brève description du procédé

La biométhanisation à la ferme consiste en une « dégradation naturelle de la matière organique contenue dans le lisier ou d'autres résidus organiques par des micro-organismes vivants sans oxygène » (Beauregard, S., 2008). Le procédé de biométhanisation engendre la production de biogaz et de digestat. Ce procédé est également appelé « digestion anaérobie » ou encore « fermentation anaérobie ». Ce procédé est généralement effectué à l'intérieur d'un digesteur (ou bioréacteur) qui peut fonctionner en continu, en discontinu ou en système hybride.

La biométhanisation transforme 90 % de l'énergie contenue dans le lisier brut en méthane (Brodeur *et al.*, 2008a). La production de biogaz varie selon les matières que l'on introduit dans le méthaniseur par leur contenu en matière organique notamment. De plus, le rendement est influencé par la température, le pH et le temps de rétention (Fischer, 2007; Beauregard, S., 2008) :

- Lisier de porcs (6 % MS) : 16-23 m³ biogaz/tonne → 65 kWh/tonne
- Fumier de volailles (24 % MS) : 61-112 m³ biogaz/tonne → 140 kWh/tonne
- Maïs (ensilage) (30 % MS) : 197 m³ biogaz/tonne → 450 kWh/tonne
- Gras (20 % MS) : 238 m³ biogaz/tonne → 540 kWh/tonne

Rendements en bioproduits et en coproduits

Selon Camirand (2007), le rendement de biogaz de la méthanisation des déjections animales se situe entre 1,3 et 2 m³ de biogaz par jour et par unité animale (UA) selon le type d'animaux, et en tenant compte que 1 UA = 500 kg, et que 1 m³ biogaz = 5 à 7 kWh thermiques et que l'efficacité électrique de la génératrice = 35 %. Le rendement en biogaz varie selon le pourcentage de méthane (CH₄) contenu dans le biogaz. Par ailleurs, il est à noter que le rendement de la transformation en énergie thermique est de 40 à 45 % et que la perte d'énergie liée au manque d'efficacité des équipements est évaluée de 15 à 25 % (Brodeur *et al.*, 2008a).

Un élevage de 1 500 porcs à l'engrais produirait assez de biogaz pour approvisionner 8 maisons en électricité (720 kW/j) ou l'équivalent de 650 litres de propane/jour (Beauregard, S., 2008).

Les valorisations envisagées du biogaz sont la production de chaleur (dont l'efficacité est évaluée à 80 %), la génération d'électricité (efficacité de 40 %) (Beauregard, S., 2008) et le refroidissement. Plusieurs valorisations peuvent être jumelées (cogénération ou tri-génération). Le digestat est composé d'une partie liquide (le surnageant) et d'une partie solide (boues ou effluent traité). Le produit solide peut être utilisé comme amendement de fond, tandis que la partie liquide est utilisée comme engrais liquide (ADEME *et al.*, 2006).

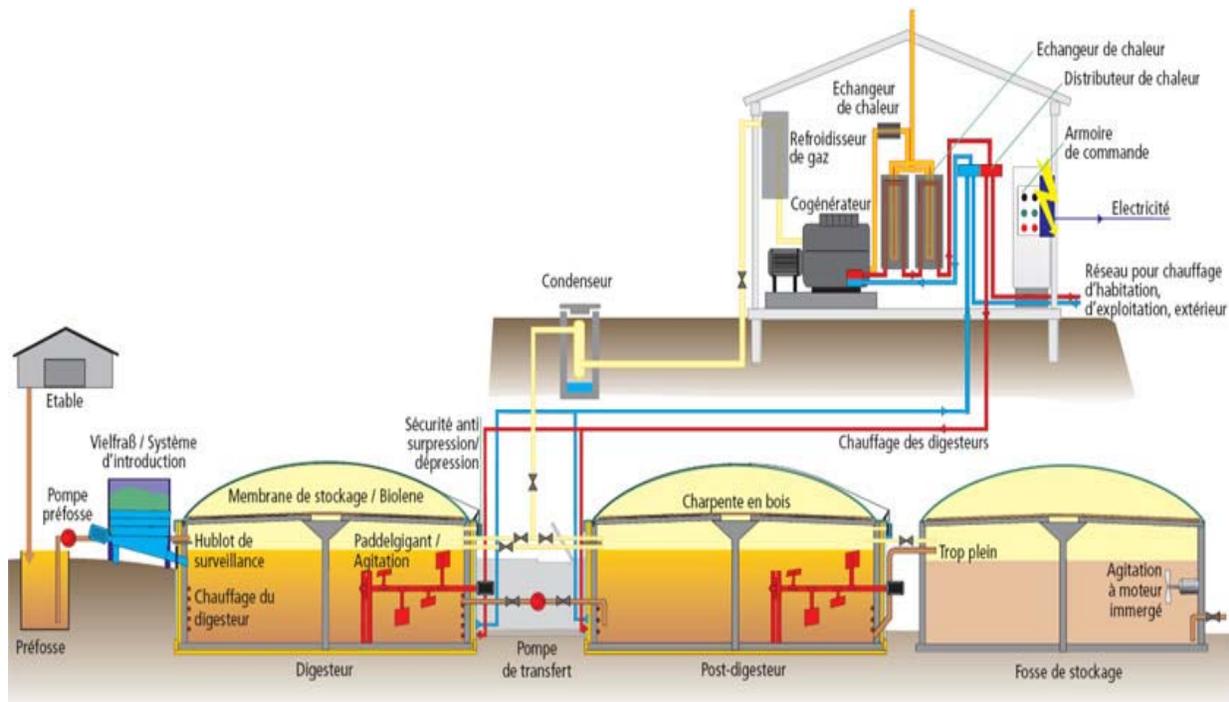
Les usines existantes

À travers le monde, cette technologie est déjà largement répandue. En Europe, plus de 5 500 unités sont implantées dont près de 4 000 en Allemagne (chiffres de 2008) (Brodeur *et al.*, 2008a). En Inde, plus de 100 000 unités existent, au Népal, plus de 175 000 et en Chine plus de 7,6 millions d'unités sont installées. Aux États-Unis, plus de 200 unités sont en fonctionnement. Au Canada, seulement 10 unités ont été implantées (Camirand, 2007). Au Québec, seules deux fermes porcines possèdent des installations de biométhanisation et un essai a été réalisé sur une ferme avicole (Brodeur *et al.*, 2008a).

Marchés déjà desservis

Le procédé est connu et reconnu depuis de nombreuses années, notamment en Asie. En Europe, l'intérêt pour ce procédé est nettement plus récent. Il s'est particulièrement développé ces vingt dernières années dans le contexte des nouveaux enjeux environnementaux. En Amérique du Nord, l'attention portée à la méthanisation est plutôt récente. À l'heure actuelle, au Québec, plusieurs technologies ont atteint un stade de maturité de commercialisation

FIGURE 12 – LA BIOMÉTHANISATION À LA FERME



Source : Sergies (s.d)

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Dans le contexte québécois, cette technologie est particulièrement intéressante au niveau de la valorisation des effluents d'élevage, ainsi que d'un point de vue environnemental. Pour le traitement du lisier, ce procédé présente plusieurs avantages tels la réduction des germes pathogènes et l'atténuation des odeurs, la minéralisation des éléments fertilisants (ce qui entraîne une amélioration de la valeur fertilisante) ou encore l'amélioration de la fluidité du digestat et la diminution de la pollution due au lessivage de l'azote. De plus, la méthanisation à la ferme permet de réduire les émissions de GES par la meilleure gestion des déjections animales (en supprimant ou réduisant leur entreposage) et par la substitution de l'énergie fossile (ADEME *et al.*, 2006; Brodeur *et al.*, 2006; Beauregard, S., 2008; Brodeur *et al.*, 2008a). D'un point de vue économique, des revenus ou des économies annuels peuvent être engendrés par la production d'énergie renouvelable (chauffage, électricité, etc.) (Beauregard, S., 2008), ainsi que par la réduction d'achat d'engrais minéraux (ADEME *et al.*, 2006). Si le digestat n'est pas utilisé à la ferme, il peut être vendu comme matière fertilisante et engendrer ainsi un revenu additionnel (Brodeur *et al.*, 2008a). De plus, le producteur pourrait aller chercher des revenus supplémentaires par la vente des crédits carbone. D'un point de vue social, vu la réduction des odeurs, la cohabitation entre le monde rural et le voisinage est facilitée (Brodeur *et al.*, 2008a).

Les facteurs de développement de l'implantation de cette technologie au Québec seraient de favoriser la valorisation thermique du biogaz, de bénéficier d'une volonté politique pour soutenir cette technologie, d'obtenir un meilleur prix de vente de l'électricité, de favoriser la codigestion, de développer des technologies moins coûteuses, de développer une expertise spécialisée ou encore d'encourager le regroupement d'entreprises agricoles pour pouvoir soutenir plus facilement financièrement ce type de projet (Perreault, 2007).

Investissement requis

Selon différentes sources, le coût d'investissement varie de 2 500 à 5 000 \$/kW. Les coûts peuvent varier selon le type de système installé, la taille du système, la source d'intrants et la présence ou non d'une unité de cogénération.

Coûts d'opération

Il est à noter que des frais de main-d'œuvre de 1 à 2 h/jour (au salaire moyen d'un technicien) et d'entretien de la génératrice de 0,015 \$/kW (s'il y a production d'électricité) sont à considérer.

Coûts de transport et de manutention des produits finis

Généralement, l'énergie produite à la ferme est utilisée sur place ou dans des installations à proximité du lieu de production. Par conséquent, les frais de transport et de manutention peuvent être considérés comme très faibles.

Rentabilité probable

Le coût de l'électricité produite à partir de la biométhanisation varie de 0,075 à plus de 0,20 \$/kWh. Le prix de vente de l'électricité sur le réseau d'Hydro-Québec varie de 0,035 à 0,063 \$/kWh. Étant donné que le coût de production de l'électricité est supérieur au prix de vente sur le réseau, une telle installation n'est pas rentable du point de vue de la production d'électricité dans le contexte actuel au Québec d'autant plus que le seuil de rentabilité serait de l'ordre de 0,13 à 0,22 \$/kWh (Camirand, 2007; Perrault, 2007; Brodeur *et al.*, 2008a). Par exemple, pour une ferme laitière de 180 têtes (100 vaches en lactation plus la relève) le coût du système serait de 300 000 \$. Il produirait potentiellement de l'électricité pour alimenter 5 maisons (450 kWh el/j) et de la chaleur équivalant à 100 litres de propane (560 kWh th/j.) (Camirand, 2007). Pour augmenter la rentabilité du projet, il est préférable de privilégier la valorisation thermique du biogaz. À la ferme, la rentabilité d'un tel projet réside dans la somme des coûts évités (remplacement d'autres énergies, diminution de l'achat d'engrais, etc.) et des différents revenus supplémentaires obtenus.

Enjeux – Approvisionnement

L'approvisionnement en effluents d'élevage ne devrait pas poser de problème vu qu'un certain nombre d'exploitations sont en surplus d'effluents à l'heure actuelle. L'application de la biométhanisation serait un bon moyen de les valoriser. Pour les déchets industriels (agroalimentaires ou autres), l'approvisionnement ne devrait pas présenter de difficultés vu que le procédé permettrait également de valoriser ces déchets.

Par ailleurs, il pourrait être envisagé qu'un méthaniseur industriel (de type municipal ou autre) puisse valoriser des effluents d'élevage comme intrants et ainsi décharger les producteurs agricoles de leur surplus d'effluents. Le 16 novembre 2009, le MDDEP a annoncé le projet d'une nouvelle politique de gestion des matières résiduelles. Dans ce cadre, le gouvernement a instauré un programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage en vue de réduire la quantité de matières organiques destinées à l'élimination et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ce programme soutiendra financièrement les secteurs municipal et privé dans le développement d'infrastructures de traitement de la matière organique. Déjà plusieurs annonces ont été effectuées par des municipalités au Québec pour la construction de biométhaniseurs utilisant principalement les matières résiduelles organiques et résidus alimentaires. Toutefois, les matières organiques d'origine agricole (fumiers et lisiers) sont admissibles, seulement pour le volet biométhanisation de ce programme, jusqu'à un maximum d'environ 10 % du volume total des matières organiques traitées.

Enjeux - Éléments techniques

À l'heure actuelle, au Québec, plusieurs technologies ont atteint un stade de maturité de commercialisation et de fonctionnement (Charest, 2008). Néanmoins, l'expertise technique des contractants de biodigesteurs ne semble pas encore très répandue, bien que la technologie et le procédé soient maîtrisés.

Enjeux - Problématiques commerciales

Pour l'instant au Québec, il n'est pas possible de vendre de l'électricité produite à partir d'un processus de biométhanisation à la ferme au réseau d'Hydro-Québec (Brodeur *et al.*, 2008a). En effet, à l'heure actuelle, il existe l'option de mesurage net d'autoproduction mis en place par Hydro-Québec qui vise à ce que le producteur d'électricité consomme ce qu'il produit. Aucun rachat de la production excédentaire n'est envisagé. De plus, ce programme prévoit que les installations ne dépassent pas une puissance de 50 kW, ce qui disqualifie généralement l'énergie électrique produite à partir de la production de biogaz à la ferme. Toutefois, un programme de microproduction est en développement, il viserait un rachat de l'électricité excédentaire. Il a pour but de soutenir les microproducteurs (< 1 MW) dépendamment de la filière de production d'énergie électrique.

Enjeux - Aspects réglementaires

Une demande de certificat d'autorisation devra être déposée auprès du MDDEP avant de procéder à la mise en place d'un méthaniseur⁶. Divers règlements pourront être appliqués en fonction de l'origine des matières premières (tels le Règlement sur les exploitations agricoles, la Loi sur la qualité de l'environnement, ainsi que les critères de référence et normes réglementaires contenus dans le *Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes*). D'autres réglementations seront applicables à la production du biogaz. Par ailleurs, la réglementation gouvernementale concernant l'épandage du digestat contenant des matières organiques provenant de l'extérieur de la ferme n'est pas encore établie de manière définitive.

Les modifications de la Loi 52, Loi sur la mise en œuvre de la stratégie énergétique du Québec, ont été adoptées pour permettre l'application du programme de microproduction d'Hydro-Québec, mais le règlement régissant son application se fait toujours attendre (Laflamme, 2009).

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

L'investissement dans un tel type d'installations est sans aucun doute assez important. Néanmoins, quelques programmes de subventions permettent d'obtenir des aides financières (Perrault, 2007) :

- Le programme Prime-Vert, volet « technologie de gestion des surplus » : 70 % des frais admissibles peuvent être couverts pour un maximum de 300 000 \$/exploitation agricole. Toutefois, de nombreux critères d'admissibilité doivent être satisfaits;
- Des mesures fiscales telles que le crédit d'impôt pour l'acquisition d'installations de traitement du lisier de porcs permettent d'obtenir un remboursement de 30 % des frais admissibles avec un maximum de 200 000 \$/exploitation agricole.

Selon Laganière (2007), près 2 100 fermes au Canada auraient le potentiel de produire 500 MW d'énergie renouvelable par le procédé de biométhanisation. Au Québec, les secteurs les plus prometteurs semblent être les élevages bovins (361 fermes) et porcins (356 fermes) ayant un potentiel thermique supérieur à 100 kW_{th} et où une installation de biométhanisation pourrait éventuellement être implantée.

⁶ En attente de la confirmation du MDDEP.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Tant du point de vue des GES que du bilan énergétique, la biométhanisation à la ferme constitue l'une des formes d'énergie renouvelable présentant le meilleur bilan (Brodeur *et al.*, 2008a).

Les impacts environnementaux du procédé de biométhanisation à la ferme sont, de manière générale, positifs. Ce procédé permet de réduire les odeurs dégagées par l'entreposage des effluents d'élevage et les pathogènes présents ainsi que les émissions de GES. L'émission des GES (méthane et oxyde nitreux) est diminuée lors des étapes d'entreposage et d'application des effluents au champ. De plus, la valeur fertilisante du fumier est améliorée (Crolla *et al.*, 2007).

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les sources de biomasse valorisable à l'aide de la méthanisation sont :

- Cultures amylicées : maïs, blé, (glucides, lipides, protéines), etc.
- Matières organiques résiduelles végétales : déchets verts municipaux, déchets domestiques et industriels (glucides, lipides, protéines).
- Matières organiques résiduelles animales : effluents d'élevage, résidus de transformation agroalimentaire (gras et viscères, lactosérum, etc.), déchets domestiques (glucides, lipides, protéines).

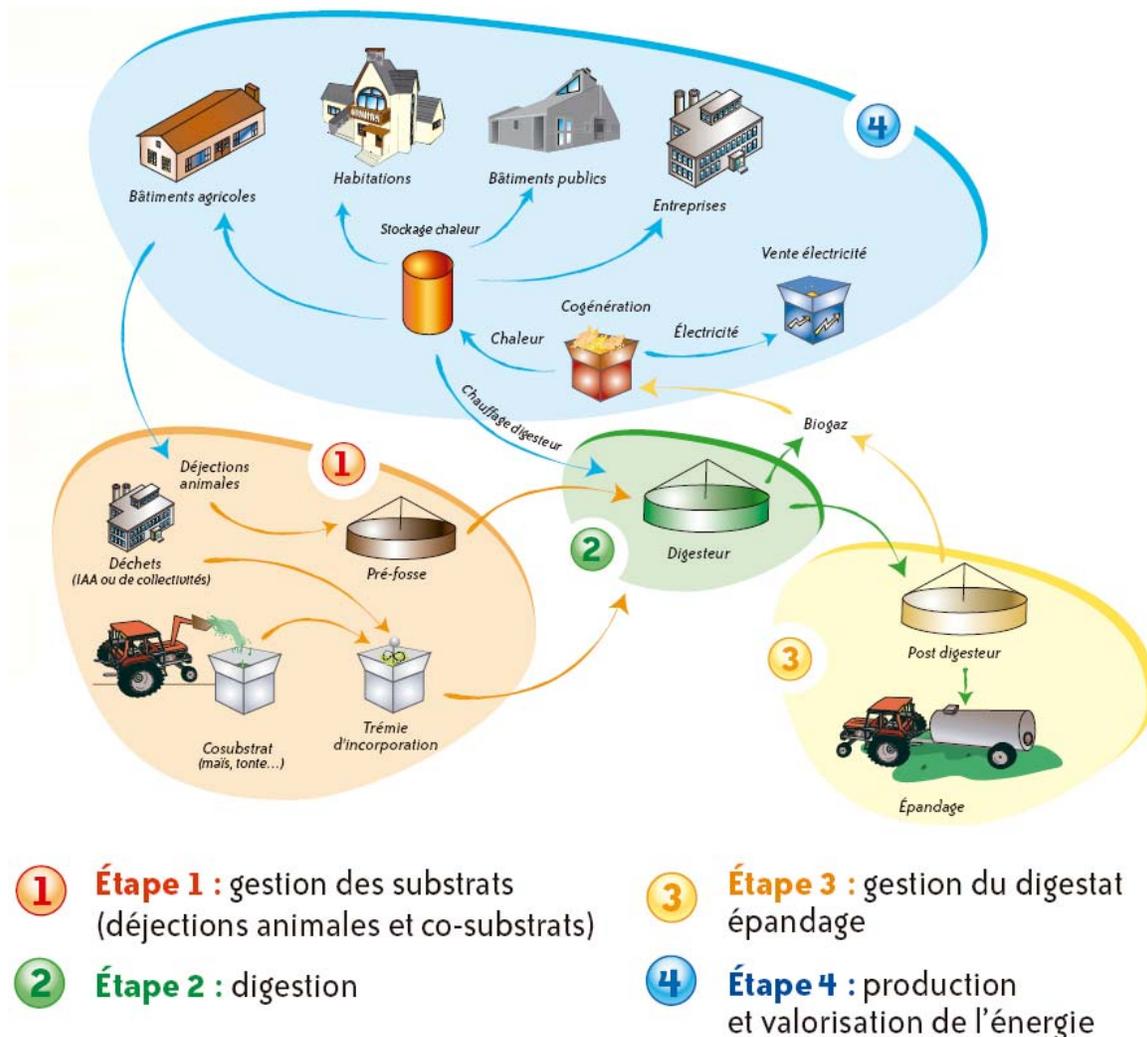
Une tendance déjà bien marquée en Europe et particulièrement en Allemagne est la codigestion. Pendant la codigestion, non seulement les déjections animales sont traitées par la méthanisation, mais d'autres sources de matière organique, comme les déchets domestiques ou agroalimentaires, sont également ajoutées à celles-ci pour augmenter l'efficacité de la production de biogaz. De plus, les cultures énergétiques (dont le maïs, le foin ou le blé) sont maintenant insérées dans le méthaniseur dans le but d'augmenter le rendement du système et éventuellement générer des revenus supplémentaires, mais également pour améliorer l'image de l'agriculture comme gestionnaire de déchets (Perrault, 2007).

Évaluation de la valeur du produit fini

À la suite du procédé de méthanisation, il y a production de biogaz et d'un digestat. Le biogaz produit peut être valorisé directement sous forme thermique ou indirectement par la production d'électricité (Brodeur *et al.*, 2008a) ou à des fins de réfrigération. L'énergie thermique produite à partir du biogaz peut remplacer, par exemple, du propane, du mazout lourd ou du gaz naturel. Cette énergie peut servir à chauffer les bâtiments, alimenter une chaudière, sécher des matériaux, réfrigérer des aliments, etc. (Brodeur *et al.*, 2008a). Un mètre cube de biogaz possède un pouvoir calorifique d'environ 6 kWh soit l'équivalent énergétique de 0,6 litre de carburant. Le biogaz provenant des déjections animales est particulièrement riche en hydrogène sulfuré. Le biogaz doit donc être partiellement épuré avant son utilisation (ADEME *et al.*, 2006). L'électricité produite peut être utilisée pour la ventilation des bâtiments, l'éclairage et le fonctionnement des différents équipements. Lorsque les réseaux de distribution d'électricité le permettent, les surplus d'énergie produits à la ferme peuvent alimenter le réseau (Brodeur *et al.*, 2008a). L'énergie thermique et électrique produite à partir de la méthanisation peut également être valorisée pour diminuer la dépendance à l'énergie fossile de l'exploitation agricole, des bâtiments publics (école, église, hôtel de ville, etc.) ou industriels. Ces édifices doivent se situer de préférence à proximité de la source d'énergie afin que les coûts de transport soient minimisés, voire nuls.

La partie solide du digestat peut être utilisée comme amendement de fond, tandis que la partie liquide sera utilisée comme engrais liquide (ADEME *et al.*, 2006). L'utilisation du digestat comme engrais permettra une réduction des frais d'achat des engrais chimiques à la ferme. Si le digestat n'est pas utilisé à la ferme, il peut être vendu comme matière fertilisante et engendrer ainsi un revenu additionnel (Brodeur *et al.*, 2008a).

FIGURE 13 – PROCESSUS DE VALORISATION DES EFFLUENTS ET DES BIOPRODUITS PAR LA BIOMÉTHANISATION



Source : Association d'Initiatives Locales pour l'Énergie et l'Environnement (AILE), 2009

Filières concurrentes et complémentaires

Du point de vue des intrants potentiels (effluents d'élevage, déchets divers), aucune valorisation des déchets n'est vraiment effectuée à l'heure actuelle. D'un point de vue énergétique, la biométhanisation n'est pas compétitive avec les autres sources d'énergie. En effet, la production d'électricité n'est pas rentable, car le coût de production est plus élevé que le prix de vente sur le réseau. D'autre part, le prix de revient du biogaz est supérieur à celui des énergies fossiles. Toutefois, le prix des énergies fossiles pourrait augmenter rapidement. De cette façon, un certain nombre de projets pourraient devenir rentables.

MATÉRIAUX D'ORIGINE RENOUVELABLE – BIOFIBRE

Brève description du procédé

Au Québec, on assiste à un virage progressif vers la construction dite « écologique » ou « bâtiments verts ». La notion de construction écologique englobe plusieurs concepts, dont celui de l'utilisation de matériaux à faible impact sur l'environnement. C'est dans ce contexte que le Québec encourage la recherche appliquée sur la fabrication d'une nouvelle gamme d'isolants à base de bois, de paille et de textiles usagés. Les isolants seront fabriqués en nattes ou en matelas semi-rigides pour être placés dans les cavités murales en remplacement des isolants en laine de verre ou de roche largement utilisés présentement en Amérique du Nord.

Il existe des procédés humides et des procédés secs de fabrication de panneaux d'isolation thermique. Les procédés secs sont présentement largement utilisés pour leur côté environnemental avantageux. Ces procédés comprennent les étapes de défection des balles de paille, le nettoyage de la paille pour enlever la poussière minérale et les roches, le broyage, le séchage, l'encollage avec des liants synthétiques ou naturels, la formation du matelas et la compression. À la sortie de la presse, les panneaux sont envoyés vers la zone de refroidissement avant d'être stockés dans une aire bien ventilée.

Rendements en bioproduits et en coproduits

Le rendement est pratiquement à 100 %, car les défauts et les retailles des panneaux fabriqués sont réutilisés dans le procédé.

Les usines existantes

En Europe, la République Tchèque est le principal pays producteur de panneaux de paille. Un projet est prévu en France pour produire 500 000 m² de panneaux. Ce projet nécessite près de 11 000 tonnes de paille.

Marchés déjà desservis

Fabriqués à base de paille, les panneaux isolants allient densité et forte inertie thermique pour une efficacité maximale en toutes conditions climatiques. En format rigide, ils s'adaptent à toutes les applications et répondent aux exigences de la réglementation thermique. Les panneaux de paille pourront être intégrés dans des bâtiments construits selon les critères LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Ces bâtiments abriteront une cinquantaine de technologies environnementales reliées à l'efficacité énergétique, à l'utilisation responsable de l'eau et à l'utilisation des matériaux verts comme les panneaux de paille. Ces derniers sont composés de résidus agricoles renouvelables provenant de la récolte de blé, d'orge ou d'autres cultures semblables et d'une résine à base d'isocyanate ou de polyuréthane. L'utilisation de la paille pour la fabrication de panneaux contribue à la préservation de la forêt, à la réduction des GES, au développement durable et à l'innovation industrielle. Les résidus de paille représentent ainsi une alternative aux ressources forestières.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Les panneaux de paille permettent d'assurer une bonne isolation thermique et acoustique. De plus, ils sont économiques et durables en plus d'être totalement recyclables et faciles à installer. Tout comme le bois, les panneaux rigides peuvent être sciés, cloués, collés et percés. Les panneaux de paille peuvent aussi être utilisés pour la construction de cloisons. Celle-ci remplace à la fois la brique plâtrière, les cloisons classiques en placoplâtre et les isolants (laines minérales). Les panneaux peuvent finalement servir de plancher ou de plafond porteur. Sur le plan de l'isolation et des économies d'énergie, la paille semble concurrencer les matériaux traditionnels.

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

L'implantation d'usines de fabrication de panneaux de paille dans les régions ressources du Québec pourrait avoir un impact socioéconomique important si on se réfère à certains plans stratégiques régionaux, tel que celui du Bas-Saint-Laurent, qui proposent de développer la fabrication des écomatériaux pour l'écoconstruction. Ils permettront de convaincre les manufacturiers, les producteurs agricoles et les entreprises de la construction de travailler ensemble pour stimuler le développement économique et du fait, positionner l'industrie agricole dans les régions du Québec. L'intégration de la filière de bioproduits dans les régions ressources permet de diversifier les activités agricoles, d'accroître le développement durable et l'innovation industrielle et de regrouper les producteurs agricoles. Ainsi, les territoires ruraux deviennent attractifs. Plusieurs emplois seront créés. Un équilibre entre l'industrie agricole, l'industrie alimentaire, la fabrication de bioproduits et l'environnement sera établi dans les milieux ruraux.

Pour faire la promotion auprès des clients, les fabricants de panneaux de paille isolants doivent présenter leurs produits aux architectes, aux constructeurs de bâtiments et aux gestionnaires de l'énergie de la province comme Hydro-Québec et l'Agence de l'efficacité énergétique.

Investissements requis

Pour l'analyse économique du procédé de fabrication de panneaux de paille, l'étude de préféabilité faite et réalisée par le CRIQ sur les isolants naturels à base de bois (2009) a été prise comme référence. Une usine de fabrication de panneaux isolants rigides en fibres de bois d'une capacité de production de 5 t/h ou 36 m³/h varie entre 50 et 60 millions de dollars. Ce coût comprend des équipements neufs, du matériel, des services, comme l'ingénierie, la supervision de l'installation, le démarrage et la documentation. Les coûts d'investissements pour les mêmes panneaux en paille sont considérés comme étant similaires.

Coûts d'opération

Les coûts d'opération dépendent du coût variable (coût de la matière première, coût d'investissement, coût de la main-d'œuvre, coût de l'électricité et coût d'entreposage) et du coût fixe (coûts de maintenance et d'administration).

Les intrants sont constitués de paille, de résines (3 % du poids des fibres de la paille sèche) et de paraffine (3 % du poids des fibres de la paille sèche). La paille traitée sèche vaut environ 70 \$/tonne, la résine PMDI 2 600 \$/tonne et la paraffine 650 \$/tonne. Le coût d'énergie revient à environ 12 \$/m³ de panneaux. Les coûts d'entretien et de main-d'œuvre sont de 5,8 \$/m³ et 6,6 \$/m³ d'isolant, respectivement. L'amortissement et les coûts d'immobilisation du capital sont d'environ de 31 \$/m³ d'isolant. Les coûts de production sont de l'ordre de 80 à 100 \$/m³.

Coûts de transport et de manutention des produits finis

Les panneaux de paille seront transportés de la même façon que les panneaux de particules de bois. La logistique de distribution existe déjà.

Rentabilité probable

Le prix de vente des panneaux de paille serait d'environ 150 \$/m³ d'isolant. Il faut noter que les prix de vente et les coûts de production ne sont pas des valeurs réelles, qu'ils sont présentés à titre indicatif et qu'ils sont assujettis à une optimisation.

Les isolants en laine de verre ont un prix de 29 à 32 \$/m³ sur le marché québécois, tandis que ceux en fibres de roche coûtent entre 60 et 85 \$/m³. La différence entre les prix de vente des produits commerciaux et des produits de paille est énorme.

Enjeux - Approvisionnement

Tout comme pour les autres filières, la constance d'approvisionnement en matières premières est essentielle pour les panneaux de paille. Des contrats à long terme doivent être signés afin d'utiliser l'usine à pleine capacité.

Enjeux - Éléments techniques

Les panneaux de paille doivent résister au feu et aux rongeurs. Ils doivent être utilisés dans des endroits secs. En cas de dégâts d'eau, les panneaux doivent être remplacés.

L'éloignement des lieux de récolte par rapport à l'unité de pyrolyse, le rapport volume/masse, l'humidité élevée, la contamination du sol par les minéraux, le pourrissement de la biomasse et la réduction de sa masse organique constituent des contraintes spécifiques pour la collecte des intrants.

Enjeux - Problématiques commerciales

L'absence de demande actuelle pour des isolants à base de paille rend difficile l'investissement dans une ligne de production au Québec. Le coût de production de ce type d'isolant est très élevé par rapport aux isolants de laine de verre et de roche qui sont présentement importés par le Québec.

L'implantation d'usines de fabrication d'isolant de paille fera du Québec une province d'avant-garde dans le domaine de la construction de maisons écologiques, autant pour des raisons environnementales qu'économiques.

Enjeux - Aspects réglementaires

Par rapport aux panneaux de plâtre, la paille peut se prévaloir d'une consommation d'énergie dix fois inférieure lors de sa transformation, tout en stockant durablement un carbone renouvelable.

Une demande de certificat d'autorisation devra donc être déposée auprès du MDDEP avant de procéder à la mise en place d'une unité de fabrication de panneaux de paille, car il y aura des émissions dans l'environnement. Divers règlements pourront être appliqués en fonction de l'équipement et du site retenu, du type d'émissions générées, de l'entreposage et de la distribution des panneaux.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Actuellement, la filière est non rentable sans subvention; des mesures incitatives pourraient encourager les constructeurs et les consommateurs à choisir des matériaux écologiques pour la construction de maisons et d'édifices verts.

Enjeux - Bilan énergétique et impacts environnementaux

Les intrants et les extrants de l'usine seront analysés. La quantité de poussière dégagée pendant le broyage sera déterminée. Un système de captage de poussières sera installé au niveau du broyeur. Les gaz émis par le séchage de la paille et la compression des matelas seront analysés pour être traités.

Le site de production doit être situé loin des habitations (voir la réglementation environnementale) pour éviter d'incommoder les résidants avec les odeurs et les risques de poussière. Généralement, les technologies de fabrication de bioproduits sont compatibles avec l'environnement, la santé et l'avenir des territoires ruraux.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les productions végétales génèrent de grandes quantités de résidus ligneux principalement sous forme de pailles ou de fourrages. Il peut s'agir de pailles issues des cultures céréalières et oléagineuses ainsi que des fourrages de moindre qualité.

Les cultures dédiées pourraient être utilisées pour assurer un approvisionnement constant et ainsi permettre la réalisation d'un projet de production de panneaux de paille en milieu rural. Il faut toutefois se demander si cela est réaliste considérant les coûts en biomasses et les prix du marché.

Évaluation de la valeur du produit fini

Les panneaux d'isolation sont caractérisés en terme du facteur d'isolation thermique « R » et de coefficients acoustiques. Un panneau de paille de 4,3 centimètres a une STC (Sound Transmission Class) de 30, ce qui équivaut à un panneau de gypse de 2,5 centimètres d'épaisseur et a une résistance thermique supérieure ($R=4,13$) à celle d'un panneau de *styromousse* de 2,5 centimètres ($R=4,0$). Les panneaux de paille seront analysés en matière de résistance au feu et aux rongeurs.

Filières concurrentes et complémentaires

La paille et le foin peuvent être utilisés pour la fabrication d'énergie (combustion directe, sous forme de granules et de bûches), pour la méthanisation, pour la gazéification, pour la fabrication de litière, pour nourrir le bétail, etc. Aujourd'hui, la fermeture des scieries, crée une pénurie de copeaux de bois, matière première pour la fabrication de panneaux de particules et de granules. La demande pour d'autres fibres alternatives comme le foin, la paille et les plantes à croissance rapide devient de plus en plus importante. Seule une étude technico-économique permettrait de faire un choix judicieux entre les technologies de transformation et les différents marchés.

Filières se livrant compétition pour les mêmes composés et matières premières

Les filières qui sont en compétition avec la fabrication de panneaux à partir des résidus agricoles incluent la combustion directe, la fabrication de granules et de bûches, la gazéification, la méthanisation et la fermentation, ainsi que l'alimentation du bétail, la fabrication de litière, etc.

Filières complémentaires

Les panneaux de paille sont des produits écologiques recyclables. À la fin de leur cycle de vie, on peut les utiliser comme matière première pour la fabrication de bioénergies et de bioproduits.

CHIMIE VERTE – BIOLUBRIFIANT

Brève description du procédé

Dans le cadre d'une étude sur les lubrifiants obtenus à partir de la biomasse, il a été convenu de se concentrer sur l'huile isolante à base oléochimique qui peut être employée comme fluide isolant diélectrique utilisé dans les équipements de transformation de courant électrique. Une telle huile doit posséder comme caractéristiques de pouvoir dissiper la chaleur, de présenter une résistance diélectrique conforme aux applications ciblées et de ne pas contenir de composants nocifs pour l'environnement. Une autre application pour cette huile pourrait être une utilisation en tant que biolubrifiant dans les éoliennes étant donné les caractéristiques recherchées pour ces dispositifs (usage extérieur, résistance au froid, etc.).

D'un point de vue technique, les huiles isolantes biodégradables sont obtenues à partir des triglycérides d'acide oléique qui ont été hydrogénés pour réduire les insaturations (meilleure résistance à l'oxydation) ou frigélisés par fractionnement à froid.

Rendements en bioproduits et en coproduits

La très grande majorité des transformateurs sont pour le moment immergés dans une huile minérale isolante (HMI). L'huile isole par ses propriétés diélectriques en plus d'évacuer la chaleur générée par les pertes électriques du transformateur. Grâce à leur grande durée de vie, de l'ordre de 60 ans, le taux théorique de renouvellement serait de l'ordre de 24 000 tonnes par an.

Les usines existantes

Le premier producteur mondial de ce type d'huile est NYNAS, suivi par Shell.

Marchés déjà desservis

Du point de vue environnemental, il serait souhaitable que les huiles isolantes utilisées dans les transformateurs électriques ou dans les éoliennes soient biodégradables et non toxiques, car ces équipements électriques sont souvent situés près de sites écologiquement sensibles.

Pour une utilisation dans un climat nordique comme celui du Canada, la caractéristique la plus importante demeure le point d'écoulement de l'huile qui doit être très bas. L'exigence d'Hydro-Québec sur le point d'écoulement est d'ailleurs de - 40 °C. Pour cette raison, les huiles isolantes végétales ne sont pratiquement pas utilisées au Canada. En effet, les huiles biodégradables (MIDEL 7131 de M&I Materials - Royaume-Uni; Envirottemp FR3 de Cooper Power Systems - États-Unis; NYNAS 10CX de NYNAS - Suède et Biotemp de ABB), déjà sur le marché, ne présentent pas des points d'écoulement aussi bas (entre -17 et -21 °C). Ces produits sont constitués d'huiles végétales purifiées et traitées auxquelles des agents de conservation et des additifs ont été ajoutés. Ces huiles ont pour avantage d'être biodégradables, non toxiques et d'avoir des points d'éclair élevés. Cependant, leurs coûts sont plus élevés que pour leurs substituts à base pétrochimique. De plus, leur stabilité chimique peut être problématique dans certaines conditions (humidité, chaleur et présence d'oxygène).

Certains additifs ayant pour rôle de diminuer le point d'écoulement des huiles sont connus (ex. polyméthacrylates et polystyrène-co-anhydride maléique). Il semble possible d'abaisser le point d'écoulement des produits existants en utilisant de tels additifs. En fait, ceci permettrait d'abaisser le point d'écoulement en deçà des points d'écoulement habituels, mais nécessiterait de grandes proportions d'additifs, un ratio (additif/huile) élevé, et ne permet toujours pas d'atteindre les exigences pour une utilisation en climat nordique. Qui plus est, l'ajout d'une grande quantité d'additifs vient se faire au détriment des caractéristiques isolantes de l'huile en plus d'amener un coût supplémentaire prohibitif pour une telle application.

De cette problématique naît une opportunité : la possibilité de développer un produit « bio » adapté aux conditions des pays nordiques. Il est envisageable qu'un produit oléochimique puisse satisfaire aux conditions d'utilisation et aux normes exigées par Hydro-Québec et par les autres grandes compagnies productrices d'électricité situées dans des pays nordiques.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Le réseau d'Hydro-Québec est le plus grand en Amérique du Nord. Il est constitué principalement de centrales hydrauliques éloignées (produisant plus de 35 000 MW) et de réseaux de transport et de distribution qui acheminent cette énergie 1 000 kilomètres plus loin à deux grandes agglomérations : Montréal et Québec.

Hydro-Québec TransÉnergie gère et exploite quelque 32 000 km de lignes de transport de haute et moyenne tensions, 20 interconnexions et plus de 500 postes de transport. Ce réseau comprend 3 650 transformateurs qui utilisent quelque 200 000 000 litres de HMI. Hydro-Québec Distribution gère et exploite un réseau de distribution de 106 380 km. Ce réseau comprend environ 750 000 transformateurs aériens installés sur les poteaux du réseau, qui utilisent également quelque 250 000 000 litres de HMI.

Depuis la fin des années 1980, le réseau d'Hydro-Québec ne comporte plus d'installations avec des huiles isolantes à base de biphényle polychloré (BPC) (Askarel). Ces huiles ont été remplacées par des huiles minérales. Certains niveaux de contamination croisée persistent à cause des traces de BPC remarquées dans les huiles minérales avec le temps. Cependant, ces traces sont éliminées au fur et à mesure des opérations de décontamination et de régénération routinière des huiles minérales.

Dans le cadre de sa politique sur le développement durable et de son attestation ISO 14 001, Hydro-Québec a mis en place une procédure de décontamination, régénération et recyclage de ses HMI. Ainsi, en 2002, l'entreprise a récupéré 5 509 505 litres de HMI dont 4 681 000 litres ont été recyclés pour être réutilisés dans les transformateurs du réseau ou revendus à des fournisseurs. Le taux de réutilisation des HMI cette année-là fut de 92,2 %. Le restant est valorisé sous forme d'énergie. Cette politique de recyclage permettait à Hydro-Québec de n'acheter que 120 000 litres d'HMI neuve en 2002, sur un volume utilisé de l'ordre de 450 millions de litres, soit seulement 0,03 %. Cette performance est due en particulier à la grande durabilité de ces huiles. Ainsi, les achats d'huile neuve sont effectués principalement dans le cadre du remplacement de transformateurs de distribution défectueux (4 000 à 5 000 par an). Hydro-Québec se compare très avantageusement à la moyenne de l'industrie nord-américaine dont les taux de recyclage des HMI sont de l'ordre de 77 %.

Actuellement, aucune législation ne pousse les compagnies électriques à utiliser des huiles biodégradables. Au Québec, la réglementation environnementale ne fait pas encore la différence entre les huiles minérales et les huiles végétales. Par contre, Hydro-Québec est malgré tout très sensibilisé à la problématique des huiles minérales et aux risques environnementaux qui lui sont associés. Il semble que la disponibilité d'une huile biodégradable d'origine végétale dont les propriétés répondraient aux normes techniques et aux procédures d'utilisation d'Hydro-Québec amènerait l'entreprise à en utiliser une certaine quantité, notamment dans les sites sensibles, dans les installations souterraines et dans les installations à l'intérieur de bâtiments, notamment les bâtiments publics tels les centres commerciaux et les tours à bureaux.

Il est à noter que seul le marché québécois a été analysé, mais les marchés canadiens, européens, américains et asiatiques pourraient présenter des opportunités intéressantes pour une huile isolante biodégradable.

Depuis la ratification du « Farm Security and Rural Investment Act of 2002 », le marché des huiles isolantes « bio » présente des perspectives de croissance très importantes. Cette nouvelle législation américaine prévoit l'augmentation obligatoire de l'utilisation de bioproduits au sein des organismes gouvernementaux américains. La dynamique actuelle semble donc vouloir favoriser les produits d'origine biologique par rapport aux produits d'origine minérale et pétrochimique.

Rentabilité probable

D'après les données du Tableau 22, les huiles d'origine végétale se vendaient entre 2,5 et 4 \$/L en 2005. Toutefois, pour atteindre des points d'écoulement inférieurs à -40°C, des formulations passablement plus complexes sont nécessaires, ce qui contribue à augmenter le prix de façon notable. En effet, pour les huiles isolantes possédant un point d'écoulement inférieur à -40°C et une biodégradabilité acceptable, il fallait compter 7 \$/L, en 2005. Ceci représentait une différence significative par rapport aux huiles d'origine végétale qui possèdent des points d'écoulement supérieurs.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

La production d'huile isolante biodégradable se ferait à partir de cultures oléagineuses telles que le soya et le canola, mais également de résidus d'abattoir.

Évaluation de la valeur du bioproduit fini

Les huiles végétales pour transformateurs électriques d'origine végétale sont des produits possédant une valeur ajoutée moyenne.

Le Tableau 21 présente les principales huiles isolantes pour transformateurs électriques disponibles sur le marché en 2005. Une comparaison détaillée des propriétés physiques, biologiques, environnementales, électriques et chimiques des différentes huiles isolantes est présentée.

TABLEAU 21 – PRINCIPALES HUILES POUR TRANSFORMATEURS ÉLECTRIQUES DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ EN 2005

Produit	Biotemp®	Envirotemp® FR3	Midel® 7131	Voltesso®	DC 561®
Compagnie	ABB	Cooper Power Systems / Cargill	M&I International	Esso	Dow Corning
Type d'huile de base	Végétale (huile de tournesol à haute teneur en acide oléique)	Végétale (huile de tournesol à haute teneur en acide oléique)	Synthétique (origine pétrochimique)	Huile minérale (Pétrole)	Huile de silicone
Prix (\$ de 2005/L)	2.53 – 3.97	3.25 - 3.60	7,00 \$/L	Env. 0,70- 1,00 \$/L	ND
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES					
Indice de couleur	< 0.5 (ASTM 1500)	0.5 (ASTM 1500)	-	< 0.5 (ASTM 1500)	< 0.5 (ASTM 1500)
Densité spécifique (g/mL)	15°C: 0.91 (ASTM D1298)	25°C: 0.92 (ASTM D1298)	25°C : 0.96 à 0.97	0.895 (ASTM D1298)	0.96 (ASTM D1481)
Viscosité dynamique (mm ² /s)	0°C: 274.7 cSt 40°C: 40.75 cSt 100°C: 8.75 cSt (ASTM D445)	0°C: 187.42 cSt 40°C: 32.71 cSt 100°C: 7.93 cSt (ASTM D445)	-30°C: 5000 -20°C: 1700 0°C: 310 40°C: 31 100°C: 6	-40°C: 5130 cSt 0°C: 66.4 cSt 40°C: 9.5 cSt 100°C: 2.25 cSt (ASTM D445)	0°C: 90 cSt 25°C: 50 40°C: 38 cSt 100°C: 16 cSt (ASTM D445)
Point d'écoulement (°C)	-17 (ASTM D97)	-21 à -18 (ASTM D97)	-48	-56 (ASTM D97)	-55 (ASTM D97)
Chaleur spécifique (cal/g/°C)	25°C: 0.47-0.57 100°C: 0.60 200°C: 0.67 (ASTM D2766)	25°C: 0.45 (ASTM D2766)	0.5	Env. 0.38-0.43 (ASTM D2766)	0.36 (ASTM D2766)
Conductivité thermique (W/mK)	25°C: 0.17 100°C: 0.26 200°C: 0.36 (ASTM D2717)	25°C: 4.0 x 10-4 Cal/(cm s °C) (CPS Method)	25°C: 0.156-0.161 (ASTM D2717) 3.7 x 10-4 Cal/(cm s °C)	Env. 7.5 x 10-4 Cal/(cm s °C)	0.151
Coefficient d'expansion (l/°C)	6.88 x 10-4 (ASTM D1903)	7.4 x 10-4 (CPS Method)	7.4 x 10-4	Env. 7.55 x 10-4 (ASTM D1903)	10.4 x 10-4 (ASTM D1903)
PROPRIÉTÉS BIO/ENV					
Biodégradabilité	Élevée : 99%/21j. (CEC-L-33-A-93)	Élevée : qualitatif (EPA OPPTS 835.3110)	Moyenne – élevée (> 80 %/28 jours)	Faible : 10-25 %/21 jours (CEC-L-33-A-93)	Nulle : 0%/21j. (CEC-L-33-A-93)
Toxicité	Non (EPA/600/4-90/027F-Août 1993)	Non (EPA/600/4-90/027F-Août 1993)	Non [Oral LD50 (rat) >5000mg/kg]	Oui	Oui

PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES					
Constante diélectrique	25°C : 3.2 (ASTM D924)	25°C : 3.2 (ASTM D924)	25°C : 3.2	Env. 25°C : 2.2	25°C : 2.7 (ASTM D924)
Tension de claquage – minimum (kV)	45-51 (ASTM D877)	45 - 47 (ASTM D877)	75 (Breakdown strength)	45 (ASTM D877)	43 (ASTM D877)
Tension de claquage – gap (kV)	1 mm : 32-37 2 mm : 65 (ASTM D1816)	1 mm : 37 2mm : 56 (ASTM D1816)	-	2 mm : 53 (ASTM D1816)	2 mm : 50
Tension de claquage sous impulsion (kV)	90-200 (ASTM D3300)	168 - 226 (ASTM D3300)	-	212 (ASTM D3300)	-
Facteur de dissipation [Facteur de puissance] (%)	25°C : 0.022-0.15 100°C : 0.837-2.0 (ASTM D924)	25°C : 0.05 - 0.143 100°C : 2.89 (ASTM D924)	90°C : < 0.03	100°C : 0.19	25°C : 0.0001 90°C : 0.0005 (ASTM D924)
Tension interfaciale (dyne [mN/m]/cm)	-	25°C : 27.8 (ASTM D971)	-	25°C : 49 (ASTM D971)	-
PROPRIÉTÉS CHIMIQUES					
Point d'éclair (°C)	331 (ASTM D92)	328 (ASTM D92)	257-275 (ASTM D92)	146 (ASTM D92)	>300 (ASTM D92)
Point d'inflammabilité (°C)	363 (ASTM D92)	363 (ASTM D92)	310-322 (ASTM D92)	Env. 160-170 (ASTM D92)	370
Résistance à l'oxydation (% sludge; mg de KOH/g)	72h : 0.02; 0.16 164h : 0.02; 18.41 (ASTM D2440) 112-120 minutes (ASTM D2112)	-	h : 0; 0.01	72h, 100°C : <0.01; <0.01 164h, 110°C : <0.01; 0.04 (ASTM D2440)	-
Tendance au gazage (µL/min)	< +5.0 (ASTM D2300)	- 79 (ASTM D2300)	-	+8.5 (ASTM D2300B)	-
Indice de neutralisation (mg de KOH/ g)	< 0.075 (ASTM D974)	0.022 - 0.03 (ASTM D974)	< 0.03	< 0.01	0.008
COMPOSITION					
Teneur en eau (ppm)	72 - 150 (ASTM D1533)	55 (ASTM D1533)	50	23	30
Soufre corrosif	Pass (ASTM D1275)	-	-	Pass (ASTM D1275)	-
Composition	Acide oléique: 80.0 % Acide linoléique : 10.5 % Acide linoléique: 0.3 %	Acide oléique : 23.5 % Acide linoléique : 52.3 % Acide linoléique: 7.6 %	C7-C9 ester de pentaérythritol	0.08 % inhibiteur	Poly diméthylsiloxane

Les marchés potentiels pour les huiles de transformateurs électriques d'origine végétale se situent principalement dans les pays du nord. Au Canada, le Québec serait un bon choix comme il a été évoqué précédemment. Les autres provinces du Canada pourraient aussi être intéressées par une telle technologie. Finalement, certains états du Nord des États-Unis (ex. : Dakota du Nord) et certains pays du nord de l'Europe (ex. : pays scandinaves) pourraient se montrer intéressés étant donné le type de climat rencontré. Les prix de ce genre de produit dépendent fortement du prix des matières premières d'origine végétale utilisées. Il a été vu par le passé que la spéculation sur les produits issus de la biomasse pouvait être à l'origine d'une augmentation significative de leur prix. Aujourd'hui (juin 2009), il faut donc s'attendre à ce que le prix d'une huile pour transformateur électrique d'origine végétale soit plus dispendieux qu'une huile d'origine pétrochimique. Une augmentation significative du prix du pétrole contribuerait à diminuer, voire à inverser cette tendance. De la même façon, l'adoption d'une législation plus sévère (utilisation obligatoire d'une huile biodégradable comme aux États-Unis; voir « Farm Security and Rural Investment Act of 2002 ») en ce qui concerne les huiles pour transformateurs électriques, pourrait contribuer à encourager le développement d'une telle filière.

Filières concurrentes et complémentaires

Les huiles pour transformateurs électriques « bio » évoquées dans ce document sont d'origine végétale. Ces huiles peuvent être extraites de plantes oléagineuses telles que le soya ou le canola. Les huiles à base pétrochimique peuvent être utilisées également pour produire des huiles pour transformateurs électriques. En soi, elles constituent la principale filière concurrente des huiles d'origine végétale.

Le Tableau 21 présente les huiles qui étaient commercialisées en 2005. Principalement, la compétition intervient entre les huiles d'origine végétale et les huiles d'origine pétrochimique. Seul un prototype d'huile à base de silicone est présenté.

CHIMIE VERTE - BIOSOLVANT

Brève description du procédé

Les solvants sont des liquides ayant la propriété de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres substances sans provoquer de modification chimique de ces substances et sans eux-mêmes se modifier. Ils sont présents dans différents secteurs industriels : peintures et vernis, encres et nettoyage des presses, dégraissage industriel, adhésifs, etc. Actuellement, trois catégories de biosolvants sont présentes sur le marché : les esters d'acides gras d'origine végétale, les esters d'acides organiques fermentés ainsi que l'éthanol et les terpènes. Leur marché était d'environ 4.1 millions de tonnes au niveau de l'Union européenne en 2008.

Selon une étude menée par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA, 2009) de France au sujet des solvants d'origine végétale, l'ester méthylique de colza a été confirmé comme étant le meilleur compromis pour le remplacement de l'acétone dans le cadre du nettoyage pré-polymère de résine époxy, composé utilisé par l'industrie de la production et de conditionnement de colles, compte tenu des contraintes techniques, environnementales et économiques.

Les usines existantes

Le manufacturier Vertec Biosolvents (Illinois; USA) fabrique et vend des biosolvants qui peuvent être utilisés dans plusieurs applications telles les encres, les peintures, les produits pour le décapage de peintures⁷ et le vernis (avec un mélange de LE et de d-limonène) et les produits pour l'enlèvement de graffitis (avec un mélange de LE, de soyate de méthyle (SM) et de d-limonène). Cette compagnie possède une propriété intellectuelle sur ses produits et procédés de fabrication.

Marchés déjà desservis

Au niveau du marché, les biosolvants utilisés dans les secteurs des adjuvants, des encres et du nettoyage en sont au stade de l'application industrielle. Les secteurs des solvants de formulation, des savons, des décapants de peinture et des biosolvants sont en développement. En termes de coût, les biosolvants sont actuellement 2 à 3 fois plus chers que les solvants pétrochimiques.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Plusieurs réglementations ont un impact sur l'utilisation des solvants au Canada. En effet, la réglementation visant la réduction des composés organiques volatiles (COV) responsables d'une forte pollution atmosphérique est directement liée à la diminution de la consommation des solvants pétrochimiques. Une des approches de réduction des COV est le remplacement des solvants pétrochimiques par des biosolvants.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé incluent les sources oléochimiques nobles (soya, canola et camélina) utilisées également pour la production de biodiésel.

⁷ Notamment, un mélange de lactate d'éthyle (LE) avec du diméthylsulfoxyde (DMSO) et une coupe pétrolière aromatique lourde ainsi qu'un mélange de LE, de DMSO et d'esters d'acides dicarboxyliques (DBE).

Évaluation de la valeur du bioproduit fini

Puisque les biosolvants utilisés dans le secteur des huiles et mouillants phytosanitaires ne présentent qu'une différence de prix de 10 à 30 % par rapport aux huiles végétales, ils s'inscrivent dans un marché à faible valeur ajoutée très sensible au prix de la matière première.

CHIMIE VERTE - DÉTERGENTS ET SURFACTANTS

Brève description du procédé

Les détergents et les surfactants obtenus à partir de la biomasse sont utilisés dans les produits de nettoyage et se substituent graduellement aux surfactants d'origine pétrochimiques. Ils font partie de la famille des biotensioactifs qui sont des molécules amphiphiles définies par quatre propriétés principales : leurs pouvoirs mouillant, solubilisant, détergent et émulsionnant.

Les biotensioactifs possèdent au moins une des deux parties (hydrophile ou hydrophobe) d'origine végétale. Les sucres ou les coproduits de l'amidonnerie peuvent servir d'intermédiaires chimiques pour constituer la partie hydrophile tandis que les dérivés oléochimiques (acides gras, alcools gras, esters, amines grasses, etc.) peuvent constituer la partie hydrophobe.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Du point de vue technique, les variétés actuelles de canola canadien ne sont pas bien adaptées au marché des surfactants. Toutefois, il serait possible d'obtenir la structure chimique souhaitée avec une transformation génétique appropriée.

Au niveau des enjeux commerciaux, on constate une nette tendance vers les produits oléochimiques en comparaison avec les produits pétrochimiques. En 1998, sur le million de tonnes de surfactants utilisés en Europe de l'Ouest, 45 % était d'origine oléochimique. La situation est semblable au Japon.

L'industrie cosmétique favorise depuis plusieurs années les fragrances et les ingrédients actifs d'origine végétale et délaisse de plus en plus les mêmes produits obtenus à partir de dérivés de substances animales.

Par contre, ce domaine est extrêmement compétitif et il comprend de nombreuses multinationales telles que Stepan, BASF et Cargill. De plus, les molécules chimiques ou les procédés de transformation reliés aux détergents et aux surfactants sont pour la plupart protégés par des brevets. Pour ces deux raisons, les procédés de transformation de la biomasse en détergents et en surfactants ne seront pas étudiés puisque ce marché est difficile d'accès. Les possibilités d'implantation au Québec à moyen terme sont donc faibles.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé incluent les acides et les alcools gras provenant de différentes sources oléagineuses (soya, canola, tournesol, lin, palmier oléagineux et cocotier), ainsi que l'acide ricinoléique (structure chimique particulière) provenant de l'huile de ricin.

CHIMIE VERTE - BIOCATALYSEURS

Brève description du procédé

Les biocatalyseurs sont principalement des enzymes microbiennes obtenues par des procédés de fermentation et sont utilisés dans plusieurs secteurs industriels. Les avancées scientifiques et technologiques notamment en cinétique enzymatique ont permis de développer des biocatalyseurs plus performants, plus stables et plus spécifiques pour des applications nouvelles et précises. Des modifications génétiques au niveau des souches microbiennes peuvent également permettre d'obtenir des biocatalyseurs plus efficaces.

En 2005, la production mondiale a été estimée à environ 65 000 tonnes. En 2007, on dénombrait 75 compagnies productrices d'enzymes en Union européenne. La France, l'Espagne et l'Allemagne en comptent plus de 10 chacune, ce qui représente plus de 50 % des compagnies de production d'enzymes en Europe.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Ce ne sont pas les agriculteurs ou les pisciculteurs qui produisent ces biocatalyseurs qui sont généralement des enzymes, mais bien des compagnies (souvent multinationales) dans le domaine des biotechnologies (exemple : Novosymes en Amérique du Nord).

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Les sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé incluent les micro-organismes d'origine animale ou végétale (bactéries, champignons unicellulaires et algues unicellulaires); la nature et la sous-classe des micro-organismes utilisés dépendent de la transformation biochimique désirée.

CHIMIE VERTE - SYNTHÈSE DE L'ACIDE AZÉLAÏQUE - ÉLÉMENTS PRÉCURSEURS

Brève description du procédé

L'élément précurseur choisi pour cette étude est l'acide azélaïque puisqu'il semble offrir une haute valeur ajoutée. Il peut être utilisé dans la fabrication d'adhésifs, de polyesters, de plastifiants et de lubrifiants.

À ce jour, le seul procédé industriel connu permettant de fabriquer cet important intermédiaire chimique est l'ozonolyse. Ce procédé utilise l'ozone et génère comme coproduit l'acide pélargonique qui, avec l'acide azélaïque, est un réactif essentiel pour toute une gamme d'applications commerciales et militaires. En dépit de sa haute sélectivité et de son excellent rendement, ce procédé présente certains désavantages majeurs. L'ozone est un gaz extrêmement toxique et corrosif. De plus, le principal intermédiaire de la réaction, l'ozonide, est instable et explosif. Ceci explique qu'une seule usine utilisant ce procédé soit en opération à l'heure actuelle.

Les usines existantes

La seule usine au monde fabriquant de l'acide azélaïque est installée à Cincinnati (États-Unis) et elle appartient au groupe Emery Oleochemicals. Sa production annuelle d'acide azélaïque est de l'ordre de 50 000 tonnes.

Un autre procédé de fabrication d'acide azélaïque est en développement, soit l'oxydation sélective de l'acide oléique contenu dans des plantes oléagineuses telles que le soya, le canola ou le lin.

Marchés déjà desservis

Depuis de nombreuses années, un marché en faible croissance, mais soutenue, existe pour l'acide azélaïque, principalement pour la fabrication de lubrifiants à très hautes performances destinés aux moteurs d'avion. Les prix atteints par ces intermédiaires chimiques et leur marché en croissance continue sont de puissants incitatifs économiques et industriels à l'augmentation de leur production. De plus, l'utilisation d'une matière première d'origine végétale ou issue de la valorisation d'huiles usées, donc entièrement renouvelable, permettrait de s'affranchir des fluctuations des cours des produits pétroliers et de lui trouver de nouveaux débouchés au Québec et au Canada.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Le procédé proposé pour la fabrication de l'acide azélaïque, l'oxydation sélective de l'acide oléique, pourrait être implanté au Québec. L'avancée technologique de ce procédé réside dans le fait qu'il ne requiert que des réactifs peu coûteux (oxygène et oxydant courant) et des technologies simples à mettre en œuvre (réacteur pressurisé et température modérée). Le procédé serait susceptible de permettre la production d'acide azélaïque et pélargonique de la même matière première que le procédé d'ozonolyse, mais de façon beaucoup moins dangereuse et potentiellement moins dispendieuse.

Le développement de ce procédé alternatif de synthèse d'acide azélaïque et d'acide pélargonique présenterait des avantages indéniables dans deux axes distincts. D'une part, à court ou moyen terme, les producteurs de matière première ou les recycleurs profiteraient ainsi d'un nouveau débouché pour leurs produits. D'autre part, les nombreuses entreprises utilisant ces intermédiaires chimiques seraient très favorables à l'apparition d'une nouvelle source d'approvisionnement pour ces réactifs en demande croissante et actuellement très dispendieux.

Rentabilité probable

Les données du marché des intermédiaires chimiques permettent en effet de mesurer l'intérêt potentiel d'un tel procédé alternatif : de l'acide oléique (2,20 US \$/kg), on peut obtenir des quantités équimolaires d'acide azélaïque (12,10 US\$/kg) et d'acide pélargonique (6,80 US \$/kg). Bien qu'on observe une augmentation constante du coût de l'acide oléique (+20 % sur un an en date du 12 septembre 2008), l'écart de prix entre celui-ci, qui est la matière première, et l'acide azélaïque et pélargonique demeure le même.

Les prix atteints par ces intermédiaires chimiques et leur marché en croissance continue pourraient stimuler le développement de cette technologie. De plus, l'utilisation d'une matière première d'origine végétale ou issue de la valorisation d'huiles usées, donc entièrement renouvelable, en augmente l'intérêt au niveau environnemental et en ce qui concerne le développement durable.

Puisque cette technologie ne fait l'objet, à ce jour, d'aucune protection de la propriété intellectuelle, celle-ci pourra intéresser plus d'un industriel d'importance. Le développement d'une nouvelle voie de synthèse de l'acide azélaïque est encore au stade des travaux de laboratoire. Il faudra attendre quelques années (environ 5 ans; il s'agit ici d'une estimation considérant l'avancement des travaux déjà réalisés) avant d'avoir un procédé viable économiquement.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

L'acide azélaïque est obtenu à partir de l'acide oléique qui se trouve dans les huiles extraites des plantes oléagineuses telles que le soya, le canola, le tournesol et le lin.

Par exemple, la teneur en acide oléique de l'huile de canola à basse teneur en acide érucique peut atteindre 67 % tandis qu'elle peut atteindre 66 % pour l'huile de canola à basse teneur en acide linoléique. Certaines nouvelles lignées de canola (45A37 et 46A40) ont aussi été mises au point pour produire de l'huile à forte teneur en acide oléique.

Pour ce qui est du soya, certaines variétés peuvent atteindre une teneur en acide oléique de 70 à 76 %. Le lin traditionnel peut quant à lui atteindre une teneur de 18 à 20 % en acide oléique. Dans le cas du tournesol, certaines variétés peuvent produire jusqu'à 95 % en acide oléique.

Le soya, le canola et le tournesol semblent donc être les espèces oléagineuses les plus intéressantes pour cette application.

Évaluation de la valeur du bioproduit fini

L'acide azélaïque est un produit à très haute valeur ajoutée.

Filières concurrentes et complémentaires

La principale filière concurrente de ce procédé est la voie privilégiant la réaction d'ozonolyse. Il sera important que le nouveau procédé développé représente une amélioration significative en termes de sécurité tout en étant compétitif au niveau du coût de la synthèse proprement dite.

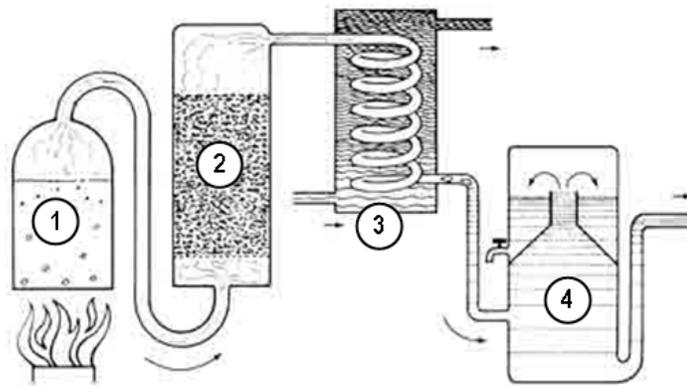
La production au Québec de plantes oléagineuses possédant une teneur élevée en acide oléique, serait souhaitable. Le soya est cultivé au Québec et la plupart de cette production est destinée à l'exportation et à l'industrie alimentaire. Les espèces de canola riches en acide oléique sont cultivées dans l'Ouest canadien principalement. Une production locale permettrait d'abaisser le coût de l'acide oléique (matière première). Toutefois, ceci ne pourrait se faire sans disposer de capacités d'extraction d'envergure au Québec.

DISTILLATION - HUILES ESSENTIELLES

Brève description du procédé

La distillation est définie comme un procédé d'extraction des composés volatils d'une plante par son immersion dans un liquide en ébullition. La vapeur permet de récupérer ces composés volatils. La biomasse est disposée dans l'alambic, sur une grille. En dessous, la vapeur est injectée grâce à un générateur de vapeur. La vapeur d'eau traverse la biomasse, et en se refroidissant, se transforme en gouttelettes composées d'eau (hydrolat) et d'huile essentielle. Il faudra ensuite séparer l'hydrolat et l'huile essentielle (Figure 14). Au fil des années, ce procédé a été amélioré, d'autres types d'extraction d'huile essentielle ont été mis en place : l'extraction par solvant volatil ou l'extraction au CO₂ supercritique (Matni Process, 2007). Cependant, la distillation par vapeur d'eau est le procédé le plus couramment utilisé pour extraire l'huile essentielle d'une plante.

FIGURE 14 – SCHÉMA D'UNE USINE DE DISTILLATION



- **Générateur de vapeur** : Crée la vapeur nécessaire pour l'extraction de l'huile et l'envoi dans l'alambic.
- **Alambic** : La biomasse est disposée sur une grille.
- **Condenseur** : Permet, grâce au refroidissement, de transformer les vapeurs d'eau et d'huile en gouttes.
- **Séparateur** : Recueille les gouttes d'eau et d'huile, et par le principe de décantation, la séparation des deux liquides se fait.

Comparée au procédé d'extraction par solvant volatil, la distillation à la vapeur d'eau et l'extraction par CO₂ supercritique ne dégrade pas l'huile extraite en laissant des traces de solvant. Il faut savoir que les procédés d'extraction par CO₂ supercritique ou par solvant volatil sont beaucoup plus coûteux en termes d'exploitation et d'installation comparativement à la distillation par vapeur d'eau.

Rendements en bioproduits et en coproduits

Le rendement d'une installation de distillation par entraînement à vapeur d'eau est principalement lié au rendement en huile essentielle de la plante (les paramètres de distillation influent aussi sur le rendement). Ainsi, l'unité de distillation peut avoir un rendement qui varie grandement suivant le type de plante distillée. Par exemple, pour extraire 1 kg d'huile essentielle, il faut 150 kg de lavande (*Lavandula angustifolia*) ou 4 000 kg de pétales de Rose de Damas (*Rosa damascena*). Ces rendements ont été déterminés avec des essais et optimisés grâce à l'expérience des entreprises. Pour établir un rendement de distillation d'une biomasse spécifique, il faudra procéder à des essais.

Les usines existantes

L'annuaire informatique Kompass a permis d'identifier plus de 500 entreprises fabriquant des huiles essentielles dans le monde, mais il est difficile de préciser quels sont exactement leurs produits. Au Québec, le nombre de producteurs est estimé à une vingtaine. La majorité des entreprises sont familiales et fonctionnent de façon saisonnière et artisanale. Les producteurs les plus actifs sont : Aliksir, Cèdres recyclés, Récupération de Feuillage de Cèdres Daniel Couturier et La Coopérative forestière de Girardville.

Marchés déjà desservis

En 2007, la quantité d'huiles essentielles importées était de 3 600 tonnes pour une valeur de 31,6 M\$. Les exportations étaient quant à elle de l'ordre de 1 100 tonnes pour une valeur de 22,2 M\$⁸. En 2007, 74 % des exportations canadiennes d'huiles essentielles étaient destinées aux États-Unis. Environ 50 % de la production mondiale d'huiles essentielles est destinée au marché des parfums (Orgasynth, 2008). Les huiles essentielles entrent dans la composition de plusieurs produits pharmaceutiques, huiles de massage, savon, baumes, cuisine, boissons, etc.

Évaluation des possibilités d'implantation au Québec à moyen terme

Maturité technologique et adaptabilité au contexte québécois

Les procédés d'extractions des huiles essentielles existent depuis plusieurs années. Le seul élément freinant le développement d'unités de distillation est l'investissement élevé requis pour les équipements de distillation.

Investissement requis

Le dispositif de distillation le plus couramment utilisé est celui par extraction à la vapeur d'eau. Le prix d'une installation de distillation est assez cher; le prix pour l'alambic seul est de 100 000 \$ (Rogulski, s.d.). Par contre, il est possible de faire construire le système par la main-d'œuvre locale (plombiers, artisans). Pour des raisons de propreté et de non-interaction avec les huiles essentielles, l'alambic sera de préférence en acier inoxydable (Cevenat, 2009).

Coûts d'opération

Le coût pour l'exploitation de l'unité de distillation est assez faible puisqu'il suffit de prendre en compte le coût d'utilisation de l'énergie (eau, électricité) et le coût de la main-d'œuvre (généralement 1 à 2 personnes). Cependant, il faut tenir compte du coût de production des plantes destinées à la production des huiles essentielles.

Rentabilité probable

Peu de données sont disponibles quant à la taille optimale d'une usine. À titre d'information, on peut citer la taille d'Aliksir, entreprise située à Grondines ayant une quinzaine d'employés et un chiffre d'affaires d'environ 750 000 \$. Il est à noter que la production d'huile essentielle à base de résineux est indispensable pour atteindre ce résultat.

Aliksir est une des entreprises les plus performantes au Québec dans le domaine des huiles essentielles.

⁸ Statistique Canada, mai 2008 pour Agriculture et Agroalimentaire Canada. Disponible en ligne: http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/prod/psc-lcs/pdf/essential_fr.pdf.

Enjeux – Approvisionnement

Il est important de préciser que la distillation d'une plante ne se fait qu'à un moment précis, il convient ainsi de prévoir ses approvisionnements en conséquence. Il est aussi judicieux de distiller plusieurs plantes pour rentabiliser l'investissement.

Enjeux - Éléments techniques

Les procédés de distillation sont largement documentés.

Enjeux - Problématiques commerciales

La majorité des producteurs fabriquent des huiles essentielles brutes souvent avec peu de contrôle de la qualité, ils vendent en vrac à des commerçants ou courtiers, certains commercialisent directement de petites quantités en flacons par l'intermédiaire de kiosques, le courrier et le Web. Les ventes en vrac se font en majorité auprès des intermédiaires (courtiers, distributeurs). Les courtiers sont principalement à Montréal et transigent la majorité de la production du Québec vers des courtiers et des usines de New York. Les producteurs québécois dépendent du marché des États-Unis.

Enjeux - Aspects réglementaires

Pour l'exploitation d'une unité de distillation, le propriétaire de l'alambic destiné à la distillation d'huile essentielle devra s'enregistrer auprès de l'Agence des douanes et du revenu du Canada afin d'obtenir un certificat d'enregistrement d'alambic de chimiste et d'appareils de condensation, de pasteurisation ou de refroidissement tout en consentant à se soumettre aux règles d'utilisation de l'alambic.

L'implantation des mesures canadiennes visant à réglementer la commercialisation de l'ensemble des produits de santé naturels (PSN) a commencé en 2004. La réglementation vise, notamment, à assurer au consommateur l'accès à des PSN de qualité, dont l'innocuité soit raisonnablement démontrée. Les huiles essentielles à usage thérapeutique externe – qu'on applique, par exemple, sur la peau - se retrouvent dans la catégorie 4. Les huiles essentielles à usage thérapeutique interne, qui entrent par exemple dans la fabrication de produits qu'on peut ingérer, sont dans la catégorie 2. Ces huiles essentielles doivent porter, depuis janvier 2005, un numéro de certification, appelé le NPN, le numéro de produit naturel.

Au niveau du contexte international, la norme AFNOR (AFNOR NF - T75.006 - 10/87) certifie une huile essentielle d'une plante obtenue seulement par distillation dans un alambic grâce à la vapeur d'eau sous basse pression. Cette norme définit aussi la nomenclature de chaque huile essentielle. Les éléments de la nomenclature sont : le nom latin, qui sert à identifier précisément la plante, le chémotype, qui permet de donner la composante majeure de l'huile essentielle, le procédé d'extraction et l'origine de l'extraction, qui spécifie la partie de la plante utilisée pour obtenir l'huile essentielle.

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est le plus grand producteur et éditeur mondial de normes internationales. Cette organisation est un réseau d'instituts nationaux de normalisation de 161 pays. La norme ISO s'appliquant aux huiles essentielles est « ISO/TR 210:1999 Huiles essentielles - Règles générales d'emballage, de conditionnement et de stockage ».

La certification agriculture biologique peut s'appliquer aux huiles essentielles. Pour qu'une entreprise puisse commercialiser des huiles essentielles biologiques, elle doit être certifiée par un organisme de certification biologique reconnue.

Enjeux - Subvention et pérennité des marchés

Il est difficile de dire si le marché est suffisamment rémunérateur puisque les informations quant à l'utilisation et l'exportation des huiles essentielles ne sont pas assez détaillées. De plus, concernant la production d'huiles essentielles à partir de la biomasse agricole, il est difficile de dire si l'extraction est possible et présenterait un intérêt commercial, car il y a très peu d'études faites à ce jour.

Sources de biomasse valorisable à l'aide de ce procédé

Ce ne sont pas toutes les plantes qui contiennent des huiles essentielles. Les plantes et les arbres aromatiques présentent un potentiel. Les grandes familles sont :

- Les conifères : pins, sapins, genévriers, cèdre, thuya, etc.
- Les labiées : (plantes aromatiques des régions tempérées) thym, sarriette, romarin, mélisse, origans, marjolaine, menthes, basilic, etc.
- Les ombellifères : anis, fenouil, cumin, carvi, carotte, coriandre, etc.
- Les myrtacées : myrte, eucalyptus, cajepout, niaouli, etc.
- Les lauracées : laurier, cannelle, camphre, sassafras, etc.
- Les rutacées : citrons, oranges, pamplemousses, bergamote.
- Les graminées : citronnelle, palmarosa, vétiver, etc.

Bien sûr, d'autres plantes peuvent servir à la production d'huile essentielle. Il y a plus de 300 types d'huiles essentielles extraites pour des besoins thérapeutiques.

Les plantes identifiées comme potentiellement exploitables pour la fabrication d'huiles essentielles au Québec sont : le chanvre, la verge d'or, la carotte sauvage, l'angélique, la valériane, la mélisse, la vergerette et la stévia.

Évaluation de la valeur du bioproduit fini

L'huile essentielle est un produit de niche. En fonction d'une disponibilité de biomasse agricole peu élevée, cette opportunité reste marginale et artisanale. Les plantes aromatiques sont intéressantes et peuvent rentabiliser à long terme une entreprise, mais la production des huiles des matières ligneuses est essentielle afin de rentabiliser ce type d'entreprise tel que le modèle d'Aliksir le démontre.

Les prix spécifiés⁹ des huiles essentielles sont des prix de détail en date de 2009. Le kilogramme d'huile essentielle de chanvre se vend 2 625,61 \$ US. Il faut distiller 2 t de chanvre pour obtenir 1 kg d'huile essentielle (Rue du chanvre, s.d.). L'huile essentielle de verge d'or (en anglais *Goldenrod oil*, certifiée biologique, originaire du Canada) se négocie à 1 456,49 \$ US. L'huile essentielle de carotte sauvage (en anglais *carrot seed oil*) se vend 219,74 \$ US/kg. Il faut distiller 2,5 t d'angélique pour obtenir 1 kg d'huile essentielle. L'huile essentielle issue des racines d'angélique (origine France) se vend 1 344,84 \$ US/kg et l'huile essentielle de graines d'angélique (même origine) se vend 836,62 \$ US/kg. L'huile essentielle de valériane originaire d'Inde se vend 837,75 \$ US/kg. Le rendement entre la production des huiles essentielles et le volume de la biomasse oscille entre 0,2 et 0,7 %.

L'huile essentielle de mélisse de Bulgarie se vend 2 752,80 \$ US/kg tandis que le kilogramme d'huile essentielle certifié biologique provenant de France se vend 4 472,28 \$ US. L'huile essentielle originaire d'Espagne se vend seulement 158,96 \$ US/kg. Le rendement moyen varie de 0,02 à 0,2 %. L'huile de vergerette (originaire des États-Unis) se vend 125,62 \$ US/kg. Le rendement varie de 0,2 à 1 %. Il existe très peu de données sur la production d'huile essentielle de stévia. Cependant, d'après les informations disponibles, le rendement de la distillation de la stévia (*Stevia rebaudiana*) est de 0,35 % (Turko et al., 2007).

⁹ <http://essentialoils.org/cart/index/1239859054/?key=1>

Filières concurrentes et complémentaires

Pour être rentable, la filière des huiles essentielles issues de la biomasse agricole doit être complétée par le marché des huiles essentielles issues des résineux. De plus, le marché des huiles essentielles naturelles doit faire face à un concurrent direct : le marché des huiles essentielles synthétiques.

Annexe 2 : Fiches techniques des sources de biomasse

Cultures amylacées

Avoine

TABLEAU 22 – AVOINE

Avoine			
Latin	<i>Avena sativa</i> L.		
Anglais	Oats		
DESCRIPTION	<i>Plante annuelle, l'avoine fait partie des céréales à paille et est utilisée principalement dans l'alimentation animale. L'avoine se caractérise par son inflorescence en panicule lâche qui regroupe des épillets de trois fleurs. Céréale rustique, l'avoine pousse sur des sols acides, mais est sensible au manque d'eau.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	94 000	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	2,18	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	205 000	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	Entre 1992 et 2008, les superficies ensemencées ont varié de 2 % en moyenne d'une année à l'autre, tandis qu'en moyenne, les rendements annuels ne semblent pas avoir variés significativement durant la même période. Depuis le début des années 90, des records de production moyenne ont été atteints en 2003 et 2007 avec 280 000 tonnes/année. En moyenne, la production annuelle pour le Québec est de 233 909 tonnes, si l'on considère la production de 1998 à 2008.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisée principalement dans l'alimentation animale, mais de plus en plus utilisée comme substitut au blé pour la fabrication d'aliments sans gluten (pain à base de farine d'avoine ou de lait d'avoine, une alternative au lait de soya). Constitue une source de manganèse et renferme également des quantités intéressantes de fer, de zinc, de thiamine (vitamine B1), d'acide pantothénique (vitamine B5) ainsi que des fibres solubles. Valeur énergétique cependant bien moindre que celle du blé ou de l'orge. Prix moyen de l'avoine vendu aux centres régionaux (2003-04 – 2007-08) = 157,25 \$ CAN/tonne métrique (FPCCQ, 2009a). La demande totale au Québec était de 276 400 tonnes en 2007-08, avec un stock de report de 15 100 tonnes (FPCCQ, 2009b). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	48 – 65 % d'hydrates de carbone (sucres) 3,49 – 4,18 Mcal/kg		Fournier, 2001.
Rendement énergétique	± 48 GJ/hectare		Calculé à l'aide des rendements de 2008
Rendement en éthanol	1 690 litres/hectares		Calculé en considérant un contenu énergétique de l'éthanol ~ 28 200 kJ/litre.
Technologies	Fermentation (éthanol de première génération)		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Le principal avantage de l'avoine est que cette céréale peut être cultivée sur des sols trop pauvres pour la culture du maïs et dans des régions éloignées, ce qui donne lieu à un potentiel de production intéressant. De plus, elle produit un rendement de biomasse lignocellulosique sous forme de paille. Par contre, sa valeur énergétique moindre que celle du blé ou de l'orge désavantage significativement l'avoine.		

COÛTS de production \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	622,77 \$	Moyenne sur 3 ans (2007, 2008 et 2009) – budget avoine pour alimentation animale
	Charges (sans ASRA)	594,59 \$	
	Marge	28,19 \$	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>Déjà adoptée comme culture en rotation dans toutes les régions du Québec. Pôles de production : Bas-Saint-Laurent, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Centre-du-Québec et Abitibi-Témiscamingue</i>		
Filière de transition	<i>Alimentation animale et humaine</i>		
Intégration	<i>Déjà intégrée dans plusieurs systèmes de rotation. Peut être cultivé sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque l'avoine est une culture annuelle.</i>		
Type (s) de sol	<i>Tous types de sols</i>		
Fertilisation	<i>Les recommandations de fertilisation à appliquer sont basées sur des échantillons de sols</i>		
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain</i>		
Ennemis des cultures	<i>L'avoine est peu touchée par les ennemis des cultures et constitue donc un bon choix à inclure dans la rotation</i>		
Environnement et Autres	<i>Culture moins intensive que le maïs</i>		
PERCEPTION DU PUBLIC	Le détournement d'une partie des céréales, dont l'avoine, à des fins non alimentaires pourrait engendrer des débats éthiques et sociaux au sein de la population		

Blé

TABLEAU 23 – BLÉ

Blé			
Latin	<i>Triticum aestivum</i>		
Anglais	Wheat		
DESCRIPTION	<p>Plante annuelle, le blé fait partie des céréales à paille utilisée principalement dans l'alimentation humaine. Le blé dur (<i>Triticum turgidum ssp durum</i>) est très riche en gluten et est utilisé pour produire les semoules et les pâtes alimentaires. À l'opposé, le blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>) est cultivé pour faire de la farine panifiable. Les blés tendres servent exclusivement à la fabrication de biscuits, de gâteaux, de pâtisseries et de pain ainsi qu'aux confiseries, et aux fabricants de sauces et industries de céréales à déjeuner.</p> <p>Se développe bien dans une terre argileuse et adéquatement drainée.</p>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	53 000	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	2,82	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	149 500	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	<p>Entre 1992 et 2008, les superficies ensemencées ont varié de 3 % en moyenne d'une année à l'autre, tandis que la moyenne des rendements annuels démontre que ceux-ci ne semblent pas avoir varié significativement durant la même période. Depuis le début des années 90, 2006 représente l'année record avec une production totale de 173 700 tonnes. En moyenne, la production annuelle pour le Québec est de 133 709 tonnes, si l'on considère la production de 1998 à 2008.</p>		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Au Québec, en prenant les années 2002 à 2008 en référence, la moyenne des superficies en blé destiné à la consommation humaine représente 50 % des superficies totales en blé sur une base annuelle. • Prix du blé fourrager moyen vendu aux centres régionaux (2003-04 – 2007-08) = 184,33 \$ CAN/tonne métrique (FPCCQ, 2009a). • La moyenne sur trois années des budgets de production (MAPAQ - <i>budgets de production à l/hectare</i>) démontre que la culture du blé pour l'alimentation humaine génère une marge bénéficiaire qui est environ 36 % plus élevée que la production de blé fourrager. • Au total, la demande de blé au Québec était de 277 400 tonnes en 2008-09, avec un stock de report de 15 000 tonnes (FPCCQ, 2009b). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>	<u>Références</u>	
Composé (s) chimique (s)	68 % d'hydrates de carbone (sucres) 3,84 Mcal/kg	Fournier, 2001.	
Rendement énergétique	± 29 GJ/hectare	Basé sur les rendements en grain de 2008 et sur les données de l'usine Pound-Maker à Lanigan en Saskatchewan (http://www.pound-maker.ca/ethanol.htm) qui produit environ 10 litres d'éthanol par boisseau de blé transformé, ainsi qu'un contenu énergétique de l'éthanol – 28 200 kJ/litre.	
Rendement en éthanol	Estimation à 368,6 litres/tonne. Avec un rendement en blé de 2,82 tonnes/ha = 1 036 litres/ hectare.		
Technologie	Fermentation (éthanol de première génération)		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Peut être cultivé sur des sols trop pauvres pour la culture du maïs et dans des régions éloignées.		

COÛTS de production Blé Alimentation Animale \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	1 023,36 \$	Moyenne sur 3 ans – budget blé fourrager
	Charges (sans ASRA)	718,14 \$	
	Marge	255,22 \$	
COÛTS de production Blé Alimentation Humaine \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	853,50 \$	Moyenne sur 3 ans – budget blé alimentation humaine
	Charges (sans ASRA)	755,57 \$	
	Marge	97,93 \$	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>Déjà adoptée comme culture en rotation dans de nombreuses régions agricoles du Québec. Pôles de production : Montérégie, Chaudière-Appalaches, Bas-Saint-Laurent, Mauricie, Centre-du-Québec.</i>		
Filière de transition	<i>Alimentation humaine surtout et alimentation animale pour le blé fourrager.</i>		
Intégration	<i>Déjà intégré dans plusieurs systèmes de rotation. Peut être cultivé sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque le blé est une culture annuelle.</i>		
Type(s) de sol	<i>Tous types de sols. Se développe bien dans les terres argileuses mais bien drainées.</i>		
Fertilisation	<i>Il est important de tenir compte des recommandations d'azote à appliquer car les graminées réagissent beaucoup aux apports d'azote. Les recommandations de fertilisation à appliquer sont basées sur des échantillons de sols.</i>		
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain.</i>		
Ennemis des cultures	<i>Le blé est surtout touché par des maladies fongiques.</i>		
Environnement et Autres	<i>Culture moins intensive que le maïs.</i>		
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>L'utilisation du blé à des fins autres qu'alimentaires pourrait engendrer des enjeux sociaux et éthiques compte tenu des faibles superficies actuelles au Québec et que celles-ci sont consacrées au blé panifiable et au blé fourrager.</i>		

Maïs

TABLEAU 24 – MAÏS

Maïs			
Latin	<i>Zea mays</i>		
Anglais	Corn		
DESCRIPTION	<i>Plante herbacée annuelle qui préfère les sols profonds et riches mais qui peut s'accommoder de conditions plus difficiles, comme des sols sableux ou plus argileux, voire calcaires. Le maïs, ainsi que d'autres graminées tropicales (comme la canne à sucre ou le sorgho par exemple), fait partie des plantes dites « en C4 ». Ces plantes réalisent leur photosynthèse d'une façon plus efficace que ne le font les autres plantes. Le rendement du maïs est très dépendant de la satisfaction de ses besoins en eau. Cette plante est utilisée dans l'alimentation animale, humaine et dans l'industrie agroalimentaire.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	Maïs-grain : 382 000; Maïs fourrager : 45 000	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	Maïs-grain : 8,25; Maïs fourrager : 35,56	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	Maïs-grain : 3,15 M; Maïs fourrager : 1,6 M	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	Entre 1992 et 2008, les superficies ensemencées en maïs-grain ont variées de 2 % en moyenne d'une année à l'autre, tandis que les rendements moyens ont augmenté de 3 % en moyenne durant la même période. Depuis le début des années 90, l'année 2007 représente l'année record avec une production totale de 4,1 millions de tonnes. En moyenne, la production annuelle de maïs-grain pour le Québec est de 3 099 091 tonnes, si l'on considère la production de 1998 à 2008.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Le grain est utilisé principalement dans l'alimentation humaine et animale, la plante entière comme fourrage animal. Teneur relativement faible en protéine et élevée en fécule du maïs, le maïs a une valeur énergétique très élevée. Prix du maïs-grain moyen vendu aux centres régionaux (2003-04 – 2007-08) = 160,68 \$ CAN/tonne métrique (FPCCQ, 2009a). Entre 1997-98 et 2007-08, le prix moyen annuel vendu dans les centres régionaux est passé de 160,44 \$ à 225,45 \$ CAN/tonne métrique, soit une augmentation de 38 %. La demande totale au Québec était de 4 193 000 tonnes en 2007-08, avec un stock de report de 116 900 tonnes (FPCCQ, 2009a; 2009b). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>	<u>Références</u>	
Composé (s) chimique (s)	hydrates de carbone (sucres)		
Rendement énergétique	1 tonne de maïs = 404,77 litres d'éthanol Soit avec le rendement de 2008 = 3 339 litres/hectare	Un boisseau de maïs (24,410 kg) produit 2,72 gallons (10,28 L) d'éthanol selon l'Iowa Department of Agriculture and Land Stewardship, Office of Renewable Fuels & Co-Products. Calcul basé sur les rendements en grain de 2008 et un contenu énergétique de l'éthanol ~ 28 200 kJ/litre.	
Autres rendements	± 94 GJ/ha		
Technologie	Fermentation (éthanol de première génération)		

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Le Québec produit déjà de l'éthanol à base de maïs-grain à l'usine GreenfieldÉthanol de Varennes. La production de maïs pour la fabrication d'éthanol peut s'avérer une opportunité intéressante pour les producteurs de grandes cultures. Le bilan énergétique de l'éthanol (entre autres à base de maïs) demeure toutefois très controversé et est loin de faire l'unanimité.		
COÛTS de production Maïs fourrager \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	2 000,00 \$	Moyenne sur 3 ans – budgets pour différents entreposages
	Charges	802,15 \$	
	Marge	1 197,85 \$	
COÛTS de production Maïs-grain \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	1 295,87 \$	Moyenne sur 3 ans – budget maïs-grain
	Charges (sans ASRA)	1 183,31 \$	
	Marge	112,56 \$	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>La culture du maïs-grain occupe près de la moitié des superficies consacrées aux céréales et oléoprotéagineux au Québec. Les superficies ensemencées en maïs-grain sont dix fois plus importantes qu'en maïs-fourrager. Pôles de production : Montérégie, Centre-du-Québec, Chaudière-Appalaches, Lanaudière.</i>		
Filière de transition	<i>Alimentation humaine et animale</i>		
Intégration	<i>Au Québec, le maïs est cultivé deux années sur trois dans les rotations (données de 2000). Peut être cultivé sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, car elle est une culture annuelle.</i>		
Type (s) de sol	<i>Tous types de sols drainés.</i>		
Fertilisation	<i>Les apports de fertilisants doivent assurer les besoins d'une végétation rapide et compenser les exportations réelles, qui varient selon le type d'utilisation de la culture (grains seuls ou plants pour l'ensilage). L'intrant majeur est la fertilisation azotée.</i>		
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain.</i>		
Ennemis des cultures	<i>De nombreux « ennemis des cultures », ravageurs et maladies, affectent les champs de maïs à tous les stades de la culture depuis le semis jusqu'aux épis formés.</i>		
Environnement et Autres	<i>Culture très intensive en intrants et pesticides.</i>		
PERCEPTION DU PUBLIC	À cause de ses besoins élevés en intrants et de son bilan économique et énergétique tout au long de son cycle de vie, plusieurs estiment que le maïs n'est pas la plante de choix pour produire de l'éthanol et d'autres bioproduits, bien qu'elle présente des caractéristiques intéressantes.		

Orge

TABLEAU 25 – ORGE

Orge			
Latin	<i>Hordeum vulgare</i>		
Anglais	Barley		
DESCRIPTION	<i>Céréale annuelle à paille, à inflorescence en épi barbu. Elle est cultivée pour son grain, utilisée pour l'alimentation animale ou pour l'industrie brassicole. Elle peut aussi être cultivée comme fourrage vert, pâturée ou ensilée.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	97 000	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	2,65	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	258 000	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	Entre 1992 et 2008, les superficies ensemencées ont diminué de 2 % en moyenne d'une année à l'autre, tandis que la moyenne des rendements annuels démontre que ceux-ci ne semblent pas avoir varié significativement durant la même période. Depuis le début des années 90, 1992 représente l'année record avec une production totale de 560 000 de tonnes. En moyenne, la production annuelle pour le Québec est de 385 955 tonnes, si l'on considère la production de 1998 à 2008.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisée principalement dans l'alimentation animale et l'industrie brassicole. Renferme des quantités intéressantes de vitamine E, des fibres solubles, des composés phénoliques. C'est également une source de phosphore, de magnésium, de fer, cuivre, zinc, sélénium et autres sels minéraux. L'orge a une valeur énergétique plus faible que le blé. Prix de l'orge moyen vendu aux centres régionaux (2003-04 – 2007-08) = 166,08 \$ CAN/tonne métrique (FPCCQ, 2009a). Entre 1997-98 et 2007-08 le prix moyen annuel vendu dans les centres régionaux (en \$ CAN/tonne métrique) est passé de 153,71 \$ à 221,93 \$, soit une augmentation de 44 %. La demande totale au Québec était de 484 300 tonnes en 2007-08, avec un stock de report de 16 100 tonnes (FPCCQ, 2009a; 2009b). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>	<u>Références</u>	
Composé (s) chimique (s)	Hydrates de carbone (amidon)		
Rendement énergétique	756 litres/hectare ± 21 GJ/hectare	Un boisseau d'orge (21,722 kg) produit 1,64 gallons (6,2 litres) d'éthanol; Rendement basé sur les rendements en grain 2008 et sur un contenu énergétique de l'éthanol : ~ 28 200 kJ/litre.	
Technologie	Fermentation (éthanol de première génération)		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Peut être cultivée sur des sols trop pauvres pour la culture du maïs et dans des régions éloignées. De plus, elle produit un rendement de biomasse lignocellulosique sous forme de paille. Par contre, sa valeur énergétique moindre que celle du blé ou du maïs désavantage significativement l'orge.		
COÛTS de production \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	580,42 \$	Moyenne sur 3 ans – budget orge fourragère ou brassicole
	Charges (sans ASRA)	579,76 \$	
	Marge	0,65 \$	

AGRONOMIE	
Adoption	<i>Déjà adoptée comme culture en rotation dans plusieurs régions du Québec. Pôles de production : Bas-Saint-Laurent, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Chaudière-Appalaches, Centre du Québec et Montérégie.</i>
Filière de transition	<i>Au Québec, utilisée essentiellement pour l'alimentation animale. Une faible superficie est cultivée en orge brassicole.</i>
Intégration	<i>Déjà intégrée dans plusieurs systèmes de rotation. Peut être cultivée sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque l'orge est une culture annuelle.</i>
Type (s) de sol	<i>Tous types de sols (plaines argileuses propices).</i>
Fertilisation	<i>Les recommandations de fertilisation à appliquer sont basées sur des échantillons de sols.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain.</i>
Ennemis de culture	<i>Les ravageurs les plus préjudiciables sont les pucerons, qui sont souvent vecteurs de virus, ainsi que plusieurs espèces de nématodes. De plus, la fusariose est présentement reconnue comme la maladie la plus importante chez le blé et l'orge en Amérique du Nord.</i>
Environnement et Autres	<i>Culture moins intensive que le maïs.</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>L'utilisation de l'orge pour produire de l'éthanol pourrait engendrer des enjeux sociaux et éthiques.</i>

Pomme de terre

TABLEAU 26 – POMME DE TERRE

Pomme de terre			
Latin	<i>Solanum tuberosum</i>		
Anglais	Potato		
DESCRIPTION	<i>Plante vivace, à fleurs blanches ou violettes, à fécondation autogame, produisant une tige souterraine vivace (stolon), dont les extrémités, gonflées par des réserves d'amidon, forment les tubercules. Le tubercule de pomme de terre occupe une place importante dans l'alimentation humaine et dans l'industrie agroalimentaire.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	16 800	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	29,4	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	494 100	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	Entre 1998 et 2008, les superficies ensemencées en pommes de terre ont diminué d'environ 1 % en moyenne d'une année à l'autre, tandis que les rendements moyens ont augmenté de 2 % en moyenne durant la même période. Depuis 1998, 2007 représente l'année record avec une production totale de 589 000 tonnes. En moyenne, la production annuelle de pommes de terre pour le Québec est de 502 727 tonnes, si l'on considère la production de 1998 à 2008.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisées principalement dans l'alimentation humaine, les pommes de terre sont riches en glucides et contiennent des protéines, minéraux (en particulier du potassium et calcium) et de la vitamine C. La féculé de pommes de terre a de nombreuses utilisations, surtout dans l'industrie non alimentaire ainsi que dans l'industrie des bioplastiques. Entre 1996 et 2005, le prix moyen annuel (\$/tonne métrique) de la pomme de table et de pré-pelage est passé de 101,85 \$ à 263,68 \$, soit une augmentation de 158 % (Fédération des producteurs de pommes de terre, 2007). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	Hydrates de carbone (amidon).		
Rendement énergétique	74 à 80 litres/tonne soit, 2 175 à 2 352 litres/hectare entre 61,33 et 66,32 GJ/ha.		Basé sur les données utilisées par Easson <i>et al.</i> , 2004 et un contenu énergétique de l'éthanol égal à ~ 28 200 kJ/litre.
Technologies	Fermentation (éthanol de première génération). Biogaz (méthane). Production de bioplastiques.		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Bien que le rendement énergétique de la pomme de terre soit très élevé et qu'il s'agisse d'une possibilité pour l'avenir, la viabilité de la production d'éthanol à partir de pommes de terre présente à l'heure actuelle des difficultés.		
COÛTS de production \$/ha (Financière Agricole du Québec, 2005; 2006; 2007)	Produits	4 636,13 \$	Moyenne sur 3 ans – coût de production : Pommes de terre
	Charges (sans ASRA)	4 250,10 \$	
	Marge	386,03 \$	

AGRONOMIE	
Adoption	<i>Au Québec, la pomme de terre est la troisième production horticole en importance. Pôles de production : Capitale Nationale, Laval, Lanaudière, Montérégie et le Saguenay-Lac-Saint-Jean.</i>
Filière de transition	<i>Alimentation humaine essentiellement et très faible utilisation agroindustrielle au Québec.</i>
Intégration	<i>Pratiqué la plupart du temps en monoculture.</i>
Type (s) de sol	<i>Sols sableux très poreux.</i>
Fertilisation	<i>La pomme de terre est une plante exigeante en engrais, de préférence organique (apport de fumier).</i>
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, pulvérisateur.</i>
Ennemis des cultures	<i>La pomme de terre est sensible aux maladies, dont le mildiou, la fusariose et des pourritures ainsi qu'aux dégâts des ravageurs (doryphore, pucerons et nématodes).</i>
Environnement et Autres	<i>Selon le MDDEP, la culture de la pomme de terre est à l'origine d'une altération de la qualité de l'eau souterraine dans la plupart des régions du Québec où elle est pratiquée de manière intensive compte tenu de la forte utilisation de pesticides (Giroux, 2003).</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>La production d'éthanol à partir de sous-produits de la pomme de terre peut être envisagée, mais la viabilité de la production d'éthanol à partir de pommes de terre présente à l'heure actuelle des difficultés.</i>

Triticale

TABLEAU 27 – TRITICALE

Triticale		
Latin	<i>Triticosecale</i>	
Anglais	Triticale	
DESCRIPTION	<i>Le triticale est un croisement entre le blé et le seigle ayant comme avantages une rusticité supérieure au blé et de faibles exigences en éléments nutritifs. Il est cultivé surtout comme céréale fourragère. Cette plante offre l'avantage de combiner les caractéristiques de productivité du blé et de rusticité du seigle.</i>	
PRODUCTION ACTUELLE ET POTENTIELLE		
La culture du triticale à des fins commerciales demeure marginale au Québec. Selon les données du recensement de l'agriculture (Statistique Canada, 2007), les superficies en triticale étaient plus faibles en 2006 (325 hectares) qu'en 2001 (1 450 hectares). Toutefois, cette culture présente un potentiel intéressant qui découle de sa rusticité, ce qui lui donne l'avantage d'être bien adaptée au contexte québécois et de pouvoir être cultivée dans presque toutes les régions.		
Attributs/Marchés	<p>Cette culture est particulièrement attrayante pour la production d'éthanol. De plus, le taux de protéines élevé laisse présager la possibilité d'obtenir un bon prix pour les drèches de distillerie, qui pourront être valorisées dans l'alimentation humaine ou animale. Il faut aussi savoir que les taux d'acides aminés, telle la lysine, sont plus élevés dans le triticale comparativement au blé et au maïs (McLeod et Knaack, 2000), ce qui rend encore plus intéressants les sous-produits de l'éthanol provenant du triticale.</p> <p>Au niveau de l'alimentation animale, le triticale pourrait servir à l'industrie porcine pour remplacer une partie du maïs, ce qui permettrait une réduction sensible des rejets de phosphore (Robert, 2005). La production d'éthanol avec le triticale est, quant à elle, relativement similaire à celle du blé, mais l'éthanol à base de triticale pourrait être moins coûteux à produire, car cette culture est moins exigeante au niveau des intrants.</p>	
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	En terme nutritif, le triticale se compare avantageusement aux autres céréales cultivées au Québec, tant au niveau énergétique (3,79 Mcal/kg) que protéique (13,4 %).	McLeod et Knaack, 2000
Rendements	Les variétés de triticale de printemps fournissent un rendement en grains supérieur de 15 à 20 % par rapport aux meilleurs cultivars de blé (de l'Ouest canadien).	McLeod et Knaack, 2000
Autres rendements	<i>Voir fiche blé.</i>	
Technologie	Fermentation (éthanol de première génération).	
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Les avantages du triticale sont nombreux : un faible coût de production (McLeod et Knaack, 2000), une utilisation dans l'alimentation animale et humaine et un bon potentiel pour la production d'éthanol. Ainsi, compte tenu du climat québécois, le triticale deviendrait une alternative intéressante au maïs ¹⁰ . Par contre, avant d'ensemencer de grandes superficies de culture, il serait important de mieux vulgariser l'information agronomique, de mettre à jour la documentation relative à la culture du triticale et de calculer la rentabilité réelle de cette culture pour l'agriculteur. Pour des informations complémentaires, notons que le MAPAQ de Chaudière-Appalaches effectue présentement des expériences de culture du triticale avec des agriculteurs de la région.	
COÛTS de production \$/ha	ND (c'est toutefois similaire au blé).	

¹⁰Dion, Y. (2007). Communication personnelle à propos du potentiel de la culture du triticale au Québec. Centre de recherche sur les grains (CEROM).

AGRONOMIE	
Adoption	<i>Le triticales est produit de manière très localisée au Québec.</i>
Filière de transition	<i>Alimentation animale.</i>
Intégration	<i>Très peu cultivé au Québec, mais il offre toutefois un potentiel très intéressant comme source d'énergie en production porcine à la place du maïs. Peut être cultivé sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisqu'il s'agit d'une culture annuelle.</i>
Type (s) de sol	<i>Tous types de sols</i>
Fertilisation	<i>Les recommandations de fertilisation à appliquer sont sensiblement les mêmes que celles des autres céréales à paille.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain.</i>
Ennemis de culture	<i>Le triticales semble résistant aux maladies, comme le seigle, il constitue donc un bon choix à inclure dans la rotation.</i>
Environnement et Autres	<i>Culture moins intensive que le maïs.</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>De nombreuses recherches et études sont menées actuellement sur le potentiel du triticales comme alimentation animale et comme source intéressante de biomasse.</i>

Cultures sucrières

Betterave à sucre

TABLEAU 28 – BETTERAVE À SUCRE

Betterave à sucre			
Latin	<i>Beta Vulgaris</i> L.		
Anglais	Sugar beet		
DESCRIPTION	<i>Plante biannuelle, mais récoltée annuellement. La betterave à sucre est cultivée pour sa racine conique et charnue dans laquelle se forme une réserve de sucre. Les principaux critères de sélection sont le rendement en racines et en sucre, la pureté du jus et la résistance aux maladies et ravageurs.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Référence</u>
Superficie récoltée (2006)	ha	19 488 hectares au Canada (80 % en Alberta et 20 % en Ontario)*	Statistique Canada, 2008; Gouvernement de l'Alberta, 2008.
Rendement (2006)	t/ha	~ 38 à 50 tonnes/ha	Statistique Canada, 2008; Agrinova, 2009.
Quantité produite (2006)	t	963 000 tonnes (Alberta) 266 000 tonnes (Ontario)	Agrinova, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	La production canadienne de betterave est concentrée en Alberta et a fluctué de façon importante à plusieurs reprises au cours des 10 dernières années (\pm 30-50 %). Les superficies furent maximales en 1999 (18 200 ha) et minimales en 2008 (7 446 ha). Le rendement canadien moyen en 2006 était d'environ 60 tonnes/ha (Statistique Canada, 2008).		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Production de sucres (saccharose) pour l'alimentation humaine. • Marché des bioénergies : éthanol et biogaz. • Utilisation de la pulpe et résidus de culture (tiges, feuilles) en alimentation animale. • Production de produit de déglacage à haute efficacité à partir de la mélasse de betterave. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	~ 16 % de sucres (saccharose) 4 Mcal/kg		Arzate, 2005
Rendement énergétique	~ 6 à 12 tonnes/ha de sucres (saccharose) 100 à 200 GJ/ha		Statistique Canada, 2008
Autres rendements	5 000 litres d'éthanol/ha		Brodeur <i>et al.</i> , 2008c
Technologies	Fermentation (éthanol de première génération).		

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	<p>Cette culture ne pourrait probablement pas être adaptée et cultivée sur des terres non destinées aux cultures alimentaires, car ses exigences sont élevées.</p> <p>Elle nécessite plus de 600 mm de pluie pour un rendement optimal ou une irrigation importante. Sa saison de croissance est longue : le semis est fait en avril pour une récolte en octobre. Le pH du sol doit se situer entre 7 et 7,5 et les besoins en fertilisants sont élevés.</p> <p>Il faudrait développer entièrement la filière d'extraction des sucres puisqu'aucune usine n'existe au Québec actuellement.</p> <p>Les coûts énergétiques, pour la conservation des racines et l'extraction du sucre, sont élevés.</p> <p>Les difficultés de conservation de la racine pour la production d'éthanol augmentent les coûts de production et affectent la compétitivité du sucre de betterave.</p>	
COÛTS de production \$/ha en 2006 (en terre irriguée – Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 2006)	Produits	2200
	Charges	1585
	Marge	618
AGRONOMIE		
Adoption	<p><i>Au Canada, la betterave est uniquement cultivée en Alberta et en Ontario.* Sa production a toutefois connu une époque plus prospère et des usines furent exploitées un peu partout, même au Québec. Ses exigences climatiques élevées limitent toutefois sa production à la plaine de Montréal (+ de 2 600 UTM et zone de rusticité minimum de 5).</i></p>	
Filière de transition	<p><i>Alimentation animale et humaine.</i></p>	
Intégration	<p><i>s.o. au Québec.</i></p> <p><i>En Alberta, la rotation des cultures est obligatoire pour les betteraves à sucre et l'ensemencement a lieu seulement une fois tous les quatre ans, en faisant habituellement la rotation avec des cultures céréalières, des pois, des haricots secs, des pommes de terre ainsi que du maïs sucré et du maïs fourrager. Cela permet de limiter les ennemis des cultures et les maladies.</i></p>	
Type (s) de sol	<p><i>Tous types de sols ayant un pH neutre (7 à 7,5).</i></p>	
Fertilisation	<p><i>Les recommandations de fertilisation pour la betterave potagère peuvent être suivies (CRAAQ).</i></p>	
Machinerie et Matériel	<p><i>Charrue, herse, cultivateur, épandeur, pulvérisateur, planteur, équipement de récolte.</i></p>	
Ennemis des cultures	<p><i>Ennemis classiques des légumes racines : Alternaria, Cercospora, mildiou poudreux, Rhizoctonia, Pythium, Fusarium, mineuses, cicadelles, pucerons, nématodes des betteraves.</i></p>	
Environnement et Autres		
PERCEPTION DU PUBLIC	<p>La production de betterave à des fins énergétiques plutôt qu'alimentaires risque de rencontrer les mêmes oppositions que l'utilisation du maïs. De plus, contrairement à plusieurs autres cultures énergétiques, la betterave ne pourra pas être cultivée sur des terres marginales.</p>	

* Actuellement, l'Alberta est la principale province productrice de betterave et possède la seule usine de transformation de betterave sucrière canadienne (Rogers Sugar). L'Ontario produit également de la betterave à sucre. Toutefois, elle exporte sa production vers les États-Unis puisque la province ne possède pas d'usine de transformation. La production albertaine varie énormément d'une année à l'autre en fonction des contrats d'approvisionnement de l'usine, le prix du sucre sur le marché mondial influençant fortement la demande. La disponibilité en eau pour l'irrigation de la culture a également joué un rôle majeur sur les superficies ensemencées au cours des dernières années.

Chicorée

TABLEAU 29 – CHICORÉE

Chicorée			
Latin	<i>Cichorium</i>		
Anglais	Chicory		
DESCRIPTION	<i>Les chicorées sont des plantes de la famille des composées (Astéracées) appartenant au genre cichorium, cultivées soit pour leurs feuilles (salades, endives), soit pour leurs racines (succédané de café).</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	ha	0	Rioux et Lévesque-Beaudet, 2009 Rioux, 2009
Rendement (2008)	t/ha	70	Rioux et Lévesque-Beaudet, 2009 Rioux, 2009
Quantité produite (2008)	t	Parcelle	Rioux et Lévesque-Beaudet, 2009 Rioux, 2009
PRODUCTION POTENTIELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	
Rendement	t/ha	55 t/ha à 15-17 % d'inuline.	
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe plusieurs variétés de chicorée vendues en épicerie comme laitue. La racine s'utilise aussi comme succédané du café. Aussi, la racine contient de l'inuline, un composé extrait et utilisé pour donner de la saveur aux aliments préparés. • La racine de chicorée est utilisée dans la fabrication de divers médicaments populaires. Diurétique, elle aide à purifier le sang et à dégorger le foie. La chicorée serait également efficace contre les rhumatismes et constituerait un tonique pour l'estomac et les intestins. Elle est reconnue pour stimuler l'appétit. • La chicorée s'emploie parfois en horticulture. • Les lapins et le bétail sont friands de la chicorée. Elle est utilisée dans certains pays comme plante fourragère et au Québec en agriculture biologique. • En 2003, le prix au détail pour la chicorée était de 0,75 \$/ 30 g (25 \$/kg) et le prix de gros était de 15,50 \$ le kg. • En 2003, le prix pour des racines de chicorée déjà coupées pour être ensachées était de 1,55 \$/kg, en provenance d'Allemagne, alors que celui pour des racines biologiques était de 9,09 \$/kg (Plantes médicinales). • Les feuilles de chicorée doivent se consommer rapidement, car elles ne se conservent pas longtemps. Elles doivent être gardées dans un endroit frais. L'air doit circuler autour des feuilles, celles-ci ne doivent donc pas être placées dans un contenant hermétique. • Le séchage de la racine s'effectue quelques jours seulement après la récolte afin de conserver ses propriétés. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé(s) chimique(s)	Apports pour 100 g : Valeur énergétique : 17.4 Cal Protéines : 1.6 g Lipides : 0.2 g dont acides gras saturés : 0.05 g Glucides : 1 g dont Sucres totaux : 1 g Fibres alimentaires : 2.6 g Sodium : 25 mg équivalent à environ 0.1 g de Sel		Rioux et Lévesque-Beaudet, 2009 Rioux, 2009

Rendement énergétique	Racine de chicorée brute = 73 cal/100 g	Basé sur les rendements de 2008.
Autres rendements	55 t / hectare de racine donne environ 168 GJ/ha	Basé sur les rendements de 2008.
Technologie	Granulation (Énergie) et fermentation (éthanol première génération)	
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	La chicorée se retrouve partout dans les lieux habités et incultes, les bords de chemins, les fossés et les remblais. Elle préfère les sols calcaires à particules fines ou encore les sols rocaillieux, neutres ou légèrement alcalins. Elle tolère bien la sécheresse et pousse en plein soleil. La chicorée malgré son abondance dans nos régions et ses multiples utilisations, est une plante encore méconnue des Québécois.	
AGRONOMIE		
Adoption	<i>Au Québec, on ne fait pas encore la distinction entre les plantes de provenance sauvage et celles cultivées. On cultive la chicorée selon l'utilisation que l'on veut en faire (ex : alimentaire).</i>	
Filière de transition	<i>Alimentation animale et humaine.</i>	
Intégration	<i>La culture des plantes débute lorsque la ressource sauvage ne peut supporter une exploitation commerciale ou lorsque la cueillette est moins rentable.</i>	
Type (s) de sol	<i>Tous types de sols.</i>	
Fertilisation	<i>Les recommandations de fertilisation à appliquer sont basées sur des échantillons de sols.</i>	
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain.</i>	
Ennemis des cultures	<i>La chicorée est peu touchée par les ennemis des cultures et constitue donc un bon choix à inclure dans la rotation.</i>	
Environnement et Autres	<i>Culture encore marginale au Québec.</i>	
PERCEPTION DU PUBLIC	Utilisée comme plante médicinale et culinaire depuis 4000 ans av. J.-C., la chicorée se retrouve sous de multiples formes dans la filière de l'alimentation humaine.	

Millet perlé sucré et sorgho sucré

TABLEAU 30 – MILLET PERLÉ SUCRÉ ET SORGHO SUCRÉ

Millet perlé sucré (et sorgho sucré)			
Latin	<i>Pennisetum glaucum</i> L. (et <i>Sorghum bicolor</i>)		
Anglais	Pearl millet (and Sweet sorghum)		
DESCRIPTION	Graminées annuelles pourvues d'une grande efficacité photosynthétique produisant de hauts rendements (~ 15 tonnes/ha) même en conditions limitées en eau. Ces espèces peuvent accumuler jusqu'à 16 % de leur M.S. en sucre. Le millet perlé sucré est très résistant à la sécheresse, aux sols sableux acides et peu fertiles (Andrews et Kumar, 1992). Adapté au sol léger seulement (sable et loam sableux), il exige des sols chauds et bien drainés. Le sorgho, quant à lui, peut être cultivé sur plusieurs types de sols, de légers à lourds, mais une seule coupe est effectuée tandis que pour le millet, deux coupes peuvent être faites. Ces plantes sont sensibles au gel tardif du printemps et ont deux vocations majeures : la production d'une sève sucrée pour la fermentation en éthanol et l'obtention d'un sous-produit (fourrage pressé) pouvant servir à l'alimentation animale.		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée	ha	N.D.	
Rendement	t/ha	15 t/ha de MS	Clément, 2008.
Quantité produite	t	N.D.	
PRODUCTION POTENTIELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Justificatifs</u>
Surface	ha	N.D.	Agrinova, 2009.
Rendement	t/ha	Millet : 9 à 22,6 t/ha/an de MS Sorgho : 12 à 15 t/ha/an de MS	
Quantité produite	t	N.D.	
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les producteurs de pommes de terre, l'intégration du millet perlé dans la rotation, permet de réduire la population de nématodes des lésions, augmente les rendements en pommes de terre, améliore la qualité du sol par un apport important de résidus riches en matière organique et procure un nouveau revenu (Bélaïr <i>et al.</i>, 2005). • Le millet et le sorgho offrent un haut rendement de fourrage de qualité pouvant être utilisé pour la production laitière, la semi-finition de bouvillons, l'ovin ou le caprin et cela même après le pressage de la sève. • Culture permettant une bonne valorisation des engrais de ferme. • La sève pressée peut servir à la production d'éthanol. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	La teneur moyenne en sucre de la sève du sorgho et du millet est de 16 %.		Clément, 2008.
Rendement énergétique	Exemple d'un cultivar témoin : 8,37 % de sucrose, 2,51 % de glucose et 2,71 % de fructose pour 13,58 % de sucre à ~ 4 MJ/mg.		Parisien, 2005.
Autres rendements	Avec un rendement humide de 80 t/ha (base humide) et une teneur moyenne de 16 % en sucre, on pouvait extraire 40 t/ha de sève (50 %) et produire un rendement en éthanol de 3 558 l/ha, ce qui donne approximativement un rendement de 100,33 GJ/ha.		Clément, 2008.
Technologie	Fermentation (éthanol de première génération).		

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	<p>Cette culture pourrait éventuellement être intéressante pour la production de bioénergie dans plusieurs zones climatiques du Québec. Le millet perlé sucré produit une grande quantité de matière sèche, soit environ 10 000 kg/ha (Bélaïr et Clément, 2004). Lorsqu'elle est enfouie, cette matière produit beaucoup d'humus stable (1 118 kg/ha), stimule la flore microbienne du sol et réduit les populations de nématodes. Le millet perlé sucré et le sorgho sucré concilient une forte productivité à l'hectare, sont faciles à transformer en éthanol et permettent le maintien de la vocation alimentaire des sols. Toutefois, cette culture est toujours au stade pilote et des recherches agronomiques, génétiques et industrielles restent à être conduites.</p>	
COÛTS de production \$/ha	Produits	ND
	Charges	ND
	Marge	<p>Selon Clément (2008), la culture du millet perlé, pour la production d'éthanol et de fourrage, permettrait de dégager un revenu brut supplémentaire d'environ 596 \$/ha par rapport au maïs- grain.</p>
AGRONOMIE		
Adoption	<p>Déjà adoptée comme culture en rotation dans certaines régions du Québec (Outaouais). Pôles de production du millet : Zones climatiques de < 2 200 à > 2 600 UTM toutefois le rendement est plus faible lorsqu'il y a une diminution des UTM. Zone climatique pour le sorgho : > 2 500 UTM. Grandes cultures à interlignes étroites permettant une meilleure protection du sol contre l'érosion en cours de saison et après la récolte.</p>	
Filière de transition	<p>Alimentation animale (fourrage), mais peu répandue.</p>	
Intégration	<p>À intégrer dans le système de rotation des pommes de terre, c'est aussi une belle alternative lorsqu'il y a un manque de foin. S'intègrent bien dans les systèmes de production puisque c'est une culture annuelle peu exigeante en intrants.</p>	
Type (s) de sol	<p>Le millet préfère les sols légers (sable et loam sableux) à pH acide (5,5) et peu fertiles (pauvres) tandis que le sorgho préfère des sols légers à lourds.</p>	
Fertilisation	<p>Dans le cas du millet perlé sucré, les recommandations de fertilisation à appliquer sont similaires au millet japonais ou au sorgho (CRAAQ, 2003a). 110 kg/ha d'azote (N) en deux applications soit avant le semis et après la coupe.</p>	
Machinerie et Matériel	<p>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, faucheuse. Presseoir actuellement en expérimentation.</p>	
Ennemis des cultures	<p>Les graminées annuelles. Le chiendent et les autres vivaces doivent être détruits l'automne avant le semis ou très tôt le printemps. Les mauvaises herbes à feuilles larges peuvent être réprimées à l'aide de PEAK, 2,4-D amine, Basagran Forte ou Pardner. Le millet perlé sucré et le sorgho sucré sont peu compétitifs.</p>	
Environnement et Autres	<p>Le millet est avantageux pour les producteurs de pommes de terre, car lorsqu'il est intégré dans leur système de rotation, il contrôle la population de nématodes des lésions des racines (alternative saine à la fumigation), ce qui réduit les coûts de production et les impacts sur l'environnement. Pour les producteurs de bovins, ovins ou caprins, le millet représente une source différente d'alimentation, permet de diversifier leurs sources de revenus et fournit un apport de matière organique au sol pour les producteurs de grandes cultures.</p>	
PERCEPTION DU PUBLIC	<p>Les espèces pouvant produire à la fois de l'énergie et de la nourriture en grande quantité sur des terres actuellement en production agricole sont une avenue intéressante. Il est intéressant d'améliorer les revenus sans compromettre l'équilibre entre la production alimentaire et non alimentaire, afin d'éviter une concurrence des terres pour les usages alimentaires et énergétiques. Les études menées en Outaouais démontrent que la production de millet perlé sucré en remplacement des cultures pérennes permet un meilleur rendement et une meilleure qualité du fourrage même lorsque ce dernier est pressé.</p>	

Topinambour

TABLEAU 31 – TOPINAMBOUR

Topinambour			
Latin	<i>Helianthus tuberosus</i>		
Anglais	Jerusalem artichoke (topinambour)		
DESCRIPTION	<i>Plante vivace très rustique, résistante au froid, à tige creuse et à feuilles rugueuses cultivée avant tout pour ses tubercules.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	Unités	Informations	Références
Superficie récoltée	Ha	Non relevée à l'heure actuelle au Québec	
Rendement	t/ha	Selon la littérature : 40 à 50	Yamazaki, 1989
Quantité produite	t	Non relevée à l'heure actuelle au Québec	
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisé principalement dans l'alimentation humaine, le topinambour contient de l'inuline qui peut être transformée en fructose ce qui lui permet d'être métabolisé sans insuline (intérêt pour les diabétiques). Sa mise en marché à l'état frais reste limitée. Les fructo-oligosaccharides sont des prébiotiques qui ont un potentiel d'utilisation en pharmacologie. Utilisation possible pour l'alimentation animale de bovins, porcs et poulets sous forme de farine. Encore très limité. 		
Rendement – BIOPRODUITS	Informations		Références
Composé (s) chimique (s)	Saccharides		
Rendement énergétique	Estimation du rendement en éthanol : 3,4 à 6,6 t/ha pour les tubercules et 1t/ha pour le feuillage. Avec un facteur de conversion de 80 à 150 litres/tonne, on obtient un rendement entre : 272 et 990 litres d'éthanol/ha, soit : 7,6 à 27,9 GJ/ha.		Bajpai <i>et al.</i> , 1991
Technologie	Fermentation (éthanol)		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Cetle plante indigène a un potentiel de culture dans la quasi-totalité des régions du Québec. Il serait particulièrement intéressant dans les régions où le maïs ne peut pas être cultivé grâce à sa grande tolérance au froid.		
COÛTS de production (avec le transport à l'usine) (Morin, 2006)	La partie aérienne : 168,61 \$/tonne. Le tubercule : 124,59 \$/tonne		
AGRONOMIE			
Filière de transition	<i>Alimentation humaine et animale pour la plante entière</i>		
Intégration	<i>Le topinambour est actuellement cultivé à des fins commerciales locales ou de niche et pourrait être adapté dans une rotation. La culture du topinambour sur des terres en friche à proximité d'unités de première transformation est une option à explorer (CEPAF, 2007).</i>		
Type (s) de sol	<i>Le topinambour est un légume facile à cultiver, ne nécessitant pas de pesticides. Il tolère presque tous les sols, sauf ceux très alcalins ou détrempés. Les sols comme les loams, les loams sableux, les sols alluviaux et bien drainés sont plus favorables.</i>		
Fertilisation	<i>Peu d'études sur ce sujet.</i>		
Machinerie et Matériel	<i>Même machinerie et matériel que pour la pomme de terre : charrue, herse, cultivateur, sarcler, ensileuse à maïs pour récolter la partie aérienne, récolteuse à pommes de terre.</i>		
Ennemis des cultures	<i>Très peu d'information disponible sur les ennemis de cette culture. Il semble que le topinambour pourrait être cultivé sans pesticides car celui-ci attire peu les maladies et les insectes.</i>		
Environnement et Autres	<i>Culture moins exigeante et plus robuste que plusieurs cultures traditionnelles.</i>		

PERCEPTION DU PUBLIC	Le topinambour possède un potentiel pour la production de sirop de fructose ou d'éthanol. Selon plusieurs auteurs, son utilisation serait plus intéressante que le maïs compte tenu de ses propriétés agronomiques, du fait que c'est une culture marginale qui ne rentre pas en compétition avec l'utilisation pour l'alimentation humaine et que son prix est moins variable que celui des grains sur les marchés.
----------------------	--

Cultures lignocellulosiques

Plantes fourragères

TABLEAU 32 – PLANTES FOURRAGÈRES

Plantes fourragères			
Anglais	Forage		
DESCRIPTION	Les plantes fourragères incluent un ensemble de graminées et de légumineuses cultivées généralement pour l'alimentation du bétail. Elles sont également utiles dans les systèmes de rotations agricoles afin d'améliorer la qualité des sols. Elles peuvent être consommées par le bétail à l'état frais ou être conservées sous forme d'ensilage ou de foin sec.		
PRODUCTION ACTUELLE	Unités	Informations	Références
Superficie récoltée (2008)	Ha	817 000	ISQ, 2009
Rendement (2008)	t/ha	5,63	ISQ, 2009
Quantité produite (2008)	t	4 600 000	ISQ, 2009
PRODUCTION POTENTIELLE	Entre 1992 et 2008, les superficies ensemencées ne semblent pas varier significativement, tandis que la moyenne des rendements annuels démontre que ceux-ci ont augmentés de 2 % durant la même période. Depuis le début des années 90, l'année 1993 représente une année record avec une production totale de 6 350 000 tonnes. En moyenne, la production annuelle de plantes fourragères pour le Québec est de 4 066 364 tonnes, si l'on considère la production de foin cultivé pour la période de 1998 à 2008, excluant celle des pâturages.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Litière pour animaux. • Alimentation animale. • Granulation à des fins énergétiques et/ou alimentaire. • Production énergétique comme biocombustible ou biocarburant (2e génération). • Fabrication de papier, carton, isolants, composites et panneaux. 		
Rendement – BIOPRODUITS	Informations		Références
Composé (s) chimique (s)	Hydrates de carbone		
Rendement énergétique	Les biocombustibles produits à partir de la biomasse ligneuse ou herbacée contiennent entre 30 et 50 % de l'énergie contenue dans les combustibles fossiles. Le pouvoir calorifique des résidus de cultures varie généralement entre 15 et 19 GJ/tonne.		Brodeur <i>et al.</i> , 2008b
Technologies	Granulation, combustion, gazéification, hydrolyse enzymatique (éthanol cellulosique), agromatériaux.		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Les cultures fourragères occupent déjà une place prépondérante dans l'agriculture québécoise. Certaines régions sont d'ailleurs en surplus et/ou pourraient augmenter leur production en pratiquant une agriculture moins extensive. Il serait donc intéressant de développer de nouveaux débouchés pour ces cultures puisqu'elles sont déjà produites avec succès.		
COÛTS de production \$/ha (MAPAQ, plusieurs années)	Produits	859,44 \$	Moyenne sur 3 ans – budget différents mélanges ¹¹
	Charges	587,22 \$	
	Marge	272,23 \$	

¹¹ Les mélanges considérés sont composés de mil/luzerne et de mil/trèfle

AGRONOMIE	
Adoption	<i>Déjà adoptées comme cultures en rotation dans la majorité des régions du Québec. Pôles de production : Bas-Saint-Laurent, Chaudière-Appalaches, Centre-du-Québec.</i>
Filière de transition	<i>Alimentation animale.</i>
Intégration	<i>Déjà intégrées dans plusieurs systèmes de rotation. Peut être cultivées sur des terres en friche ou marginales, implantation en bandes riveraines possible.</i>
Type (s) de sol	<i>Les différents types de cultures fourragères disponibles font en sorte qu'il est possible d'en cultiver sur la majorité des sols et sous la majorité des climats.</i>
Fertilisation	<i>Recommandations pour prairies et pâturage : la luzerne est peu exigeante en fertilisation azotée, les autres plantes fourragères sont exigeantes. Les apports recommandés dépendent des mélanges réalisés et du type de sol de l'exploitation.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, faucheuse, presse, hachoir.</i>
Ennemis des cultures	<i>De façon générale, les cultures fourragères sont peu touchées par les ennemis des cultures.</i>
Environnement et Autres	<i>Cultures pérennes exigeant peu d'intrants et jouant un rôle majeur pour la qualité des sols.</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>Les superficies et/ou les rendements en fourrages pourraient être augmentés dans certaines régions pour servir à d'autres fins que l'alimentation animale. De plus, l'utilisation des plantes fourragères à des fins énergétiques est un bon moyen d'améliorer le rendement économique de la culture sans concurrencer l'industrie alimentaire.</i>

Panic érigé

TABLEAU 33 – PANIC ÉRIGÉ

Panic érigé			
Latin	<i>Panicum virgatum L.</i>		
Anglais	Switchgrass		
DESCRIPTION	<p><i>Graminée très vivace, de climat chaud, produisant une forte quantité de tiges de haute taille (1,6 à 2,0 m), se propageant via des tiges souterraines (rhizomes). L'inflorescence est une panicule lâche de 15 à 55 cm composée de multiples épillets portés sur de longues ramifications. Cette plante est originaire des grandes plaines de l'ouest de l'Amérique du Nord. Elle est pourtant bien adaptée à un large éventail de sols et de climats et peut produire pendant plus de 10 ans.</i></p>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2007) (essais)	ha	0,7	Martel et Perron, 2008
Rendement moyen	t/ha	8 à 13 t	Girouard <i>et al.</i> (s.d)
Quantité produite (2007) (essais)	t	1 793	Martel et Perron, 2008
PRODUCTION POTENTIELLE	<p>Ces dernières années, les superficies implantées ont largement augmenté. Il n'y a pas de récolte avant la 2^e ou la 3^e année après le semis. Les superficies récoltées, ainsi que les rendements obtenus, ne sont pas encore recensés. Les rendements dans nos régions ne sont pas représentatifs, car les chiffres des essais ne sont pas encore disponibles. Avec les essais ayant eu lieu entre 1994 et 1998, on rapporte un rendement qui atteint 12,7 t/ha.</p>		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation principale du panic érigé est pour la production d'énergie. En effet, le panic est compressé et granulé afin d'en faire des granules utilisées pour le chauffage. D'autre part, un procédé de production d'éthanol à partir de cellulose est développé et pourra être appliqué au panic érigé. • Dans l'est de l'Ontario, le panic érigé a également été développé pour son utilisation comme fibre dans la fabrication du papier. • Le panic érigé est utilisé dans la production animale comme litière, car il a une bonne absorption des liquides, et comme fourrage. • Le panic érigé peut également être utilisé dans la construction comme isolant. • Le panic érigé pourrait servir de bande riveraine pour filtrer les ruissellements d'un champ. • Le prix de vente en 2006 pour des granules de panic érigé était de 160 \$/t (Brodeur, 2008b). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	cellulose - hémicellulose		CEPAF, 2007
Rendement énergétique	18,2 à 19,1 GJ/t (granules)		Brodeur <i>et al.</i> , 2008b
Autres rendements	265 à 303 l/t (éthanol)		Brodeur <i>et al.</i> , 2008d
Technologies	Granulation - Hydrolyse + Fermentation (éthanol de 2 ^e génération).		

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Le panic érigé peut être implanté dans des sols de fertilité moyenne à pauvre avec un pH supérieur à 6. Cette plante résiste aux conditions de sécheresse et d'excès d'eau. Cette plante pourrait valoriser des sols plus pauvres et des terres en friche. Le rendement élevé de cette culture est intéressant. La valorisation de l'eau et des nutriments par la plante, ainsi que son adaptation aux conditions climatiques du Québec en fait une plante attrayante. L'avantage de cette plante est le grand nombre d'utilisations possibles et notamment la production de litière et son utilisation en bandes riveraines.	
COÛTS de production \$/t (1) Lease N. <i>et al.</i> , 2008 (2) Brodeur <i>et al.</i> , 2008b	Produits	60 à 90 \$ (1)
	Charges	73 à 90 \$ (2)
	Marge	Négatif à nul selon la littérature.
AGRONOMIE		
Adoption	<i>De nombreux essais ont été mis en place par le MAPAQ dans diverses régions, notamment : en Chaudière-Appalaches, en Estrie et en Montérégie.</i>	
Filière de transition	<i>Biocombustibles, biocarburants, litière, isolant (construction), pâtes à papier, bandes riveraines.</i>	
Intégration	<i>Le panic érigé s'est implanté à la grandeur du Québec ces deux ou trois dernières années, principalement dans le cadre d'essais.</i>	
Type (s) de sol	<i>Meilleur rendement sur sols bien drainés, comme les loams ou les sols sableux.</i>	
Fertilisation	<i>Plante peu exigeante, nécessite peu de fertilisation. L'apport d'azote n'est généralement pas requis durant la 1^{re} année. Le phosphore (P) et le potassium (K) sont à appliquer lors de l'ensemencement si leur disponibilité dans le sol est faible. Sur des sols riches, les applications supplémentaires d'engrais sont peu utiles.</i>	
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie de semis et de récolte semblable à celle des fourrages.</i>	
Ennemis de culture	<i>Les adventices sont le principal ennemi de la culture du panic érigé, principalement lors de son établissement. Le panic érigé requiert un minimum d'herbicide pour son implantation.</i>	
Environnement et Autres	<i>Peu d'intrants utilisés. Cette culture s'adapte facilement aux conditions pédoclimatiques.</i>	
PERCEPTION DU PUBLIC	Plante intéressante car elle a un bon rendement, mais son implantation est difficile et la structure de valorisation des produits n'est pas encore en place.	

Saule à croissance rapide

TABLEAU 34 – SAULE À CROISSANCE RAPIDE

Saule			
Latin	<i>Salix sp.</i>		
Anglais	Willow tree		
DESCRIPTION	<i>Le saule est une plante ligneuse que l'on retrouve principalement dans l'hémisphère nord en zones fraîches et humides des régions tempérées. Le saule s'adapte bien aux terres marginales, argileuses ou mal drainées. Cette plante présente un haut taux de croissance et une densité élevée de plantation. La récolte des tiges se fait de façon répétitive tous les 2 à 5 ans. La culture est implantée généralement pour 25 à 30 ans.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	Unités	Informations	Références
Superficie récoltée	ha	97 (entre 1995 et 2008)	Labrecque, 2008
Rendement	ta/ha	10-25	Allard, 2007
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> L'utilisation principale du saule planté au Québec est à des fins énergétiques. En effet, le saule peut être transformé en granules et en bûches pour le chauffage. D'autre part, il peut également être transformé en éthanol de 2^e génération. Sa valeur énergétique est de loin supérieure à celle du maïs. De plus, son rendement/ha est 2 à 3 fois supérieur à celui du maïs. La demande de granules en Amérique du Nord était de 1 500 000 tonnes en 2006-2007 (Allard, 2007). Une autre valorisation intéressante dans le contexte québécois est l'utilisation du saule comme litière. Un autre secteur potentiel de valorisation est l'utilisation du saule dans la fabrication de panneaux de particules et de matériaux compressés. Par ailleurs, le saule présente de nombreux avantages environnementaux. Il permet l'assimilation de quantités non négligeables de gaz carbonique. Il assimile facilement par ses racines l'azote et le phosphore. Il constitue ainsi un filtre végétal très efficace, ce qui permet de valoriser les effluents d'élevage pour sa fertilisation. De plus, il forme des haies brise-vent, ainsi que des bandes riveraines. 		
Rendement – BIOPRODUITS	Informations		Références
Composé (s) chimique (s)	Cellulose – hémicellulose		Allard, 2007
Rendement énergétique	19 800 MJ/t (granules) ce qui donne un rendement de 346,5 GJ/ha en considérant un rendement de 17,5 t/ha		Allard, 2007
Autres rendements	265 à 303 l/t (éthanol)		Brodeur <i>et al</i> , 2008d
Technologies	Granulation – hydrolyse + fermentation (éthanol de 2 ^e génération).		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	<p>Le saule est bien adapté aux conditions climatiques rencontrées au Québec. De plus, cette culture est facile à implanter et peu exigeante en termes d'engrais au niveau du sol. Elle est résistante au gel et croît dans des sols bien pourvus en eau.</p> <p>Dans le contexte environnemental québécois, la culture du saule permet de valoriser des effluents d'élevage, des boues municipales ou des eaux usées. De plus, le saule peut être utilisé comme bandes riveraines ou comme haies brise-vent.</p> <p>Par ailleurs d'un point de vue énergétique, vu que le prix de l'électricité est faible au Québec, le marché des granules n'a pas encore pris de l'ampleur comme aux États-Unis ou en Europe.</p>		
COÛTS de production \$/tonne Labrecque <i>et al.</i> , 2004	Produits	100 \$/tonne	
	Charges	40 \$/tonne pour 1^{re} rotation 26 \$/tonne rotations suivantes	
	Marge	60 à 74 \$/tonne	

AGRONOMIE	
Adoption	<i>Au Québec, la culture du saule est encore peu présente, mais elle s'implante de plus en plus ces dernières années, car l'intérêt est grandissant. L'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) travaille depuis près de 20 ans à l'évaluation de la culture de saule au Québec.</i>
Filière de transition	<i>Biocarburant, biocombustibles, litière, matériaux, haies brise-vent, bandes riveraines, phytoremédiation.</i>
Intégration	<i>L'industrie de production de boutures est en train de s'installer au Québec. Diverses plantations ont lieu à travers la province, mais les superficies sont encore assez faibles.</i>
Type(s) de sol	<i>Argileux et bien pourvu en eau.</i>
Fertilisation	<i>Culture peu exigeante en fertilisation. Toutefois, le rendement est supérieur si la fertilisation est annuelle. Peut être fertilisée avec des boues municipales, des eaux usées ou des déjections animales.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Préparation du sol avec machinerie conventionnelle, comme une planteuse maraîchère traditionnelle. Récolte à l'aide d'une fourragère conventionnelle.</i>
Ennemis des cultures	<i>Le contrôle des adventices est largement recommandé pendant l'année d'implantation. Par après, aucun autre traitement n'est requis. Par ailleurs, quelques insectes, comme les pucerons, s'attaquent parfois au saule.</i>
Environnement et Autres	<i>Captage du CO₂, valorisation des effluents d'élevage, peu d'intrants, culture pérenne sur 20-25 ans.</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>Au Québec, on commence seulement à s'intéresser au potentiel énergétique de cette source de biomasse.</i>

Peupliers hybrides

TABLEAU 35 – PEUPLIER HYBRIDE

Peuplier hybride		
Latin	<i>Populus spp.</i>	
Anglais	Hybrid poplar	
DESCRIPTION	<i>La populiculture est le nom donné à la culture de peuplements artificiels de peupliers. Le peuplier hybride est un peuplier plus performant et surtout mieux adapté aux conditions locales, issu de croisements entre espèces. La culture intensive en courtes rotations (CICR) constitue une forme relativement récente de ligniculture qui fait usage d'essences à croissance rapide comme le peuplier hybride.</i>	
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>
Rendement	m/ha	12 à 20
		<u>Références</u>
		(Fortier, 2008)
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage à la biomasse. • Granules et bûches énergétiques. • Biocarburant de 2^e génération (éthanol cellulosique). • Fibres pour pâtes à papier. • Fibres pour composites. 	
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>	
Composé (s) chimique (s)		
Rendement énergétique	18 GJ/tonne	<u>Références</u>
Technologie	Granulation, hydrolyse enzymatique.	
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Cette essence peut être utilisée pour valoriser des terres en friches.	
COÛTS de production \$/ha (Welke, 2006)	Produits	
	Charges	un coût total (comprenant l'aménagement de la plantation) d'environ 6 000 \$/ha
	Marge	
AGRONOMIE		
Adoption	<i>Pas très cultivé pour la production de biomasse</i>	
Filière de transition		
Intégration	Peut être cultivé sur des terres en friche, en bandes riveraines et en haies brise-vent.	
Type(s) de sol	<ul style="list-style-type: none"> * Sols loameux humides épais et fertiles contenant entre 3 et 8 % de matière organique et dans des champs à pente inférieure à 8 %. * Convient également aux sols riches de texture moyenne. * Il faudrait éviter les sols ayant un horizon induré dans la zone racinaire, les sols très salés et les champs traités avec des herbicides persistants dans les 12-24 derniers mois. * pH approprié entre 5,5 et 7,5. 	

Fertilisation	<p>Il peut être nécessaire de devoir intervenir par amendement du sol (chaux, matière organique) ou par fertilisation pour obtenir une production optimale de peupliers, selon l'état minéral du sol. Les deux éléments les plus importants à fournir sont l'azote (N) et le phosphore (P).</p> <p>Plusieurs études ont démontré les effets positifs du lisier de porc sur la croissance et la masse foliaire du peuplier.</p> <p>Lors de l'année de la mise en terre des plants, la fertilisation par épandage sur toute la superficie est à éviter. En effet, elle donne surtout de la vigueur à la compétition et complique l'entretien de la plantation. La fertilisation pourrait se faire après la cinquième année, soit lorsque le système racinaire des peupliers est bien établi et que la végétation compétitrice est moins vigoureuse, puisque le couvert de la plantation commence à se refermer.</p>
Machinerie et Matériel	<p><i>Utilisation de machinerie pour effectuer la préparation de terrain ainsi que l'entretien de la végétation compétitrice.</i></p>
Ennemis des cultures	<p>Agents dommageables</p> <ul style="list-style-type: none"> * Cerf de Virginie, orignaux et rongeurs. * Quelques clones sont plus sensibles aux gelées printanières. * Sensible à l'insolation et aux herbicides. <p>Insectes</p> <ul style="list-style-type: none"> * Charançon du saule. * Chrysomèle versicolore du saule. * Chrysomèle du liard. * Punaise terne. * Livrée des forêts. * Livrée d'Amérique. * Spongieuse. * Tordeuse du tremble. * Chrysomèle des peupliers. <p>Maladies</p> <ul style="list-style-type: none"> * Chancre septorien. * Tache septorienne. * Chancre cytosporéen. * Chancre hypoxylonien. * Brûlure des pousses et des feuilles.
Environnement et Autres	<p><i>Les plantations de peupliers hybrides pour des fins de production d'éthanol ont plusieurs bénéfices écologiques au niveau du stockage du carbone, les changements climatiques, la qualité du sol et de l'eau ainsi que sur la biodiversité.</i></p>
PERCEPTION DU PUBLIC	<p>Certains individus et groupes valorisant l'agriculture traditionnelle considèrent comme inacceptable la conversion des terres en friche ayant un potentiel agricole en plantations de peupliers hybrides.</p>

Chanvre industriel

TABLEAU 36 – CHANVRE INDUSTRIEL

Chanvre industriel			
Latin	<i>Canabis sativa</i> L.		
Anglais	Industrial Hemp		
DESCRIPTION	<p><i>Le chanvre, source de fibres, d'aliments et de carburant, est depuis 10 000 ans une ressource mondiale renouvelable de premier choix. Avec les fibres, on fabrique des vêtements, des cordes et du papier; les graines sont cuites à l'étuvée, rôties et moulues pour servir de nourriture; l'huile tirée des graines est utilisée pour les soins de beauté, pour l'éclairage, de même que dans la fabrication de peintures, de vernis et de préparations médicamenteuses.</i></p>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2007)	ha	4 684	AAC, 2009
Rendement	t/ha	0,8 t/ha de graines ou 6 t/ha de paille	AAC, 2009
Quantité produite	t		
PRODUCTION POTENTIELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Justificatifs</u>
Rendement	t/ha	0,5 à 1,5 t/ha de graines 5 à 10 t/ha de fibre	Girouard <i>et al.</i> , 1998
Attributs/Marchés	<p>Tout comme le lin, le blé, le maïs, le canola et les autres grandes espèces cultivées, le chanvre peut être produit à des fins alimentaires et non alimentaires.</p> <p>L'huile de chanvre est utilisée depuis longtemps à des fins industrielles (fabrication d'huile à lampe, de peintures et de vernis, par exemple).</p> <p>La tige de la plante de chanvre présente deux types de fibres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La partie extérieure de la tige renferme des fibres libériennes, fibres solides, longues et minces, qui confèrent au chanvre sa force et ses caractéristiques. Ces fibres sont particulièrement durables et absorbantes, en plus d'avoir des propriétés antifongiques et antimicrobiennes. Elles sont recherchées, entre autres, par l'industrie automobile aux États-Unis et en Europe, pour la fabrication de panneaux de voitures. Ceux-ci ont l'avantage d'être plus solides et légers que les panneaux traditionnels, en plus d'être relativement moins chers à produire. Elle peut également être utilisée pour la production d'éthanol cellulosique. • La fibre centrale, qu'on appelle parfois pulpe, provient de la partie robuste de la tige de la plante, et a l'aspect du bois. Comme les fibres libériennes, la fibre centrale possède des propriétés antifongiques et antimicrobiennes. On l'utilise à l'heure actuelle pour la fabrication de litières pour animaux et de bardeaux de fente en imitation de cèdre. Elle sert aussi à faire du papier de chanvre, quoiqu'à l'heure actuelle, la production soit faible en Amérique du Nord. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	La graine de chanvre entière contient environ 45 % d'huile, 35 % de protéines et 10 % de glucides et de fibre.		AAC, 2009
Autres rendements	250 litres d'huile/tonne de graines. 0,5 tonne de fibre/tonne de paille. Le rendement en fibre donne un rendement énergétique d'environ 48 à 96 GJ/ha.		AAC, 2009
Technologie	Biodiésel, éthanol cellulosique, granulation.		

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Le chanvre connaît aujourd'hui une renaissance, et le marché international du chanvre devient une véritable réussite commerciale. Plus d'une centaine d'agriculteurs canadiens tirent actuellement avantage du vaste marché potentiel du chanvre.	
COÛTS de production	Produits	Huile de chanvre : 1 600 \$/baril (10\$/l) Huile de chanvre bio : 2 500 \$/baril (16 \$/l) (The Agricola Group, 2008)
	Charges	
	Marge	
AGRONOMIE		
Adoption	<i>Contraintes légales considérables</i>	
Filière de transition	<i>Alimentation animale et humaine</i>	
Intégration	<i>Déjà intégré dans plusieurs fermes</i>	
Type (s) de sol	<i>Bien drainé; loameux de préférence, non compacté, pH de 6,0 à 7,5</i>	
Fertilisation	<i>La fertilisation conseillée est de 70 à 110 kg d'azote par hectare, 40 à 80 kg de P₂O₅ par hectare et 40 à 90 kg de K₂O par hectare.</i>	
Machinerie et Matériel	<i>Pour le grain : moissonneuse-batteuse. Pour la paille : équipement conventionnel pour les fourrages.</i>	
Ennemis des cultures	<i>Le chanvre peut être attaqué par plus d'une cinquantaine d'ennemis différents – virus, bactéries, champignons et insectes. Néanmoins, du fait de la rapidité de sa croissance et de sa vigueur, le chanvre peut surmonter l'attaque de la plupart des maladies et ravageurs. Aucun pesticide n'est homologué.</i>	
Environnement et Autres	<i>En 1998, le Canada a adopté le « Règlement sur le chanvre industriel » en application de la « Loi réglementant certaines drogues et autres substances ». Aux termes du règlement, on ne peut cultiver le chanvre industriel qu'à partir d'un cultivar figurant sur la « Liste des cultivars approuvés » de Santé Canada. La culture du chanvre est autorisée seulement en vertu d'une licence délivrée par Santé Canada.</i>	
PERCEPTION DU PUBLIC	La culture du chanvre industriel est interdite dans un rayon d'un kilomètre de toute cour d'école ou autre lieu public généralement fréquenté par des personnes de moins de 18 ans, en raison de la perception du public.	

Miscanthus giganteus

TABLEAU 37 – MISCANTHUS GIGANTEUS

Miscanthus giganteus			
Latin	<i>Miscanthus giganteus</i> L.		
Anglais	Miscanthus		
DESCRIPTION	<i>Graminée pérenne, stérile qui se multiplie par l'entremise de ses rhizomes qui a une durée de vie d'un peu plus de 20 ans. Importation d'Europe et des États-Unis. Besoin en eau important (750-800 mm de précipitation). Exception faite des jeunes plants, tolère bien le gel. Tolère bien les températures froides comme les plus chaudes. Cultivé pour la production de biomasse destinée à la bioénergie.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée	ha	ND*	
Rendement	t/ha	Anticipé : 10 à 25 tonnes/ha	Agrinova, 2009
Quantité produite	t	ND	
PRODUCTION POTENTIELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	
Surface	ha	Pourrait être implantée dans toutes les zones climatiques agricoles avec une baisse de rendement envisageable, proportionnelle à la baisse des UTM. Permettrait une utilisation des terres marginales.	
Rendement	t/ha	Augmentation du rendement à partir de la 3 ^e année suivant l'implantation.	
Quantité produite	t	N.D.	
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Litière pour animaux. • Valorisation des bandes riveraines, des terres en friche et/ou à faible valeur agricole. • Horticulture ornementale. • Production énergétique comme biocombustible ou biocarburant (2^e génération). • Fabrication de papier, carton, isolants, composites et panneaux. • Poudre pour émulsifiant d'huiles. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	43 % cellulose, 24 % lignine, 28 % hémicellulose		ADEME, 1998
Rendement énergétique	En combustion : 17 900 à 19 100 KJ/kg M.S.		ADEME, 1998
Autres rendements	11 375 litre/ha d'éthanol pour un rendement de 30t/ha		Dohleman <i>et al.</i> , 2008
Technologies	Gazéification, granulation, combustion, hydrolyse enzymatique (éthanol cellulosique), agromatériaux.		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Culture encore au stade pilote. De la recherche agronomique et industrielle reste à réaliser. Bon potentiel pour plusieurs zones climatiques et pour les terres en friches ou marginales. Plusieurs débouchés possibles, mais à développer.		
COÛTS de production \$/ha	Produits	ND (en évaluation)	
	Charges	ND (en évaluation) (les coûts de production sont actuellement élevés puisque les rhizomes doivent être importés d'Europe.)	
	Marge	ND	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>Présentement à l'essai au Bas-Saint-Laurent.</i>		
Filière de transition	<i>Production animale (litière) et industrielle.</i>		
Intégration	<i>Peut être cultivé sur des terres en friche, l'implantation en bandes riveraines pourrait être intéressante.</i>		

Type (s) de sol	<i>Tolère une large gamme de sols, de sableux à organiques. Éviter les sols très drainés ou lourds et engorgés. pH de 5,5 à 7,5.</i>
Fertilisation	<i>Peu exigeante. Actuellement aucune recommandation existante.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, faucheuse, presse, hachoir.</i>
Ennemis de culture	<i>Aucun herbicide homologué.</i>
Environnement et Autres	<i>Culture nécessitant peu d'intrants, bonne protection du sol contre l'érosion et le lessivage, bonne séquestration de carbone, et maintien de l'occupation du territoire.</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	Bonne puisque cette culture permet le maintien de l'occupation du territoire agricole, permet une diversification du revenu et ne nécessite pas de détourner des terres à vocation alimentaires vers d'autres marchés.

* Le miscanthus est actuellement en évaluation en Amérique du Nord, et seules quelques universités en cultivent. Au Québec, un seul groupe de producteurs situé au Bas-Saint-Laurent l'expérimente.

Cultures oléagineuses

Soya

TABLEAU 38 – SOYA

Soya			
Latin	<i>Soja hispida</i>		
Anglais	Soyabean		
DESCRIPTION	<p><i>Légumineuse annuelle formant une touffe de 50 à 60 cm de haut, à feuilles alternes à 3 folioles. Les petites fleurs blanches ou violacées sont regroupées en grappes à l'aisselle des feuilles. Le soya est cultivé pour sa production en huile et en protéines. Il peut aussi être utilisée comme fourrage vert et comme engrais vert.</i></p> <p><i>Certains cultivars sont utilisés pour extraire du lait de soya, après lavage, broyage et cuisson. Lorsqu'on extrait l'huile des graines, les résidus peuvent servir à la fabrication des tourteaux, très utilisés dans l'alimentation animale. L'huile de soya a aussi diverses utilités non alimentaires.</i></p>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	229 000	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	2,62	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	600 000	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE	<p>Entre 1992 et 2008, les superficies ensemencées ont augmenté de 15 % en moyenne d'une année à l'autre, tandis que la moyenne des rendements annuels démontre que ceux-ci ne semblent pas avoir varié significativement durant la même période. Depuis le début des années 90, l'année 2008 représente l'année record avec une production totale de 600 000 tonnes. En moyenne, la production annuelle de soya pour le Québec est de 442 000 tonnes, si l'on considère la production de 1998 à 2008.</p>		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisée principalement dans l'alimentation animale sous forme de tourteaux. Une faible part est utilisée pour l'alimentation humaine sous forme d'huile alimentaire ainsi que sous forme de lait, de tofu et autres produits de soya. Constitue une source de phosphore, de magnésium, de fer, zinc et autres minéraux. Le soya est également une source de vitamine B2 et de fibres. Prix moyen du soya vendu aux centres régionaux (2003-04 – 2007-08) = 335,60 \$/tonne métrique (FPCCQ, 2009a). Entre 1997-98 et 2007-08, le prix moyen annuel vendu aux centres régionaux (en \$ /tonne métrique) est passé de 335,55 \$ à 466,56 \$, soit une augmentation de 39 %. La demande totale au Québec était de 497 600 tonnes en 2007-08, avec un stock de report de 10 000 tonnes (Source : FPCCQ, 2009a). 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	Acides gras (Huile de graines de soya)		
Rendement énergétique	<p>Basé sur les rendements de 2008 (2,62 t/ha) :</p> <p>510 litres/hectare. ± 19 GJ/hectare.</p>		<p>Un boisseau de grains de soya (27,215 kg) produit 1,4 gallon (5,29 litres) de biodiésel. (Hofman, 2003). Contenu énergétique du biodiésel : 36,9 MJ/litre.</p>
Technologies	Transestérification (biodiésel)		

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Selon les chiffres du U.S. Department of Energy, à l'heure actuelle, les usines de biodiésel produit à partir de soya seraient non profitables. La production de biodiésel à partir de graines oléagineuses est non concurrentielle, même avec un prix du brut dépassant 100 \$/baril (CRAAQ, 2008).		
COÛTS de production \$/ha MAPAQ, budgets de production : 2005; 2006 et 2007	Produits	1 009,71 \$	Moyenne sur 3 ans – budget différents systèmes de culture
	Charges (sans ASRA)	650,46 \$	
	Marge	359,25 \$	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>Le soya représente la deuxième production en ordre d'importance au Québec au niveau des grandes cultures. Adopté comme culture en rotation avec le maïs dans plusieurs régions du Québec. Pôles de production : Montérégie, Mauricie, Lanaudière.</i>		
Filière de transition	<i>Alimentation animale surtout au Québec.</i>		
Intégration	<i>Peut être cultivé sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque le soya est une culture annuelle.</i>		
Type (s) de sol	<i>Le soya est une plante exigeante en chaleur et en eau.</i>		
Fertilisation	<i>Compte tenu de la fixation de l'azote de l'air par la plante, sa culture ne nécessite pas d'apport en engrais azoté.</i>		
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse.</i>		
Ennemis de culture	<i>Le soya ne semble pas trop sensible aux maladies à l'exception de la sclérotiniose.</i>		
Environnement et Autres	<i>Plus de la moitié du soya cultivé aujourd'hui est génétiquement modifié.</i>		
PERCEPTION DU PUBLIC	Le biodiésel produit à partir de soya entre en compétition avec l'utilisation de la matière première à des fins de production alimentaire. La nouvelle usine de trituration d'oléagineux Twin Rivers Technologies (TRT ETGO) à Bécancour demandera un approvisionnement en soya et canola de 3 000 tonnes/jour. Cette usine vise d'abord le marché des huiles alimentaires, mais il existe également une possibilité que cette usine produise du biodiésel.		

Canola/Colza

TABLEAU 39 – CANOLA/COLZA

Colza			
Latin	<i>Brassica napus</i>		
Anglais	Rape		
DESCRIPTION	<i>Plante annuelle à fleurs jaunes en grappe. Les fruits sont des siliques renfermant de petites graines riches en lipides, utilisées pour la production d'huile. Le colza peut aussi être cultivé comme engrais vert. Au Canada c'est le colza de printemps dont la teneur en acide érucique a été abaissée par sélection génétique, qui est cultivé, sous le nom de canola.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Superficie récoltée (2008)	Ha	17 500	ISQ, 2009.
Rendement (2008)	t/ha	1,89	ISQ, 2009.
Quantité produite (2008)	t	33 000	ISQ, 2009.
PRODUCTION POTENTIELLE			
PRODUCTION POTENTIELLE	Depuis les années 1996-97, l'année record est 2008, avec une production totale de 33 000 tonnes.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisé principalement dans l'alimentation humaine sous forme d'huile. Source de vitamine E et K, et est composé essentiellement d'acides gras mono et polyinsaturés. Le prix moyen pour le canola est de 283,33 \$/tonne en considérant les budgets du MAPAQ pour 2005, 2006 et 2007. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	Teneur actuelle en huile du canola = 42 %		Commission canadienne des grains, 2009
Rendement énergétique	946 litres/hectare ± 35 GJ/hectare.		Un boisseau de canola (22,68 kg) produit 3 gallons de biodiésel (11,35 litres). Contenu énergétique du biodiésel : 36,9 MJ/litre.
Technologie	Transestérification biodiésel		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	La fabrication de biodiésel à partir de canola permet d'obtenir un meilleur rendement en huile que celui produit à partir de soya. La rentabilité de la production est fonction du prix des graines oléagineuses et du prix du biodiésel et des coproduits. Aujourd'hui, même avec un prix du pétrole brut dépassant 100 \$/baril, la production de biodiésel à partir de graines oléagineuses est non concurrentielle (CRAAQ, 2008).		
COÛTS de production \$/ha MAPAQ, budgets de production : 2005; 2006 et 2007	Produits	623,33 \$	Moyenne sur 3 ans – budget différents systèmes de culture
	Charges (sans ASRA)	536,55 \$	
	Marge	86,79 \$	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>Déjà adoptée dans quelques régions du Québec : Saguenay-Lac Saint-Jean et Chaudière-Appalaches, Capitale Nationale.</i>		
Filière de transition	<i>Alimentation humaine.</i>		
Intégration	<i>La culture du canola contribue à la restauration des sols lorsqu'elle est cultivée en rotation. Une rotation de quatre ans minimum est requise. Peut être cultivée sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque le canola est une culture annuelle.</i>		

Type (s) de sol	<i>Excellente espèce pour les régions plus froides, régions périphériques. Adapté à tous les sols bien drainés.</i>
Fertilisation	<i>La fertilisation semble indispensable pour obtenir un bon rendement.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, andaineuse, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain</i>
Ennemis de culture	<i>Le colza souffre de la concurrence des mauvaises herbes, et notamment des graminées, grosses consommatrices d'azote. Des traitements d'herbicides sont indispensables.</i>
Environnement et Autres	<i>Culture moins intensive que le maïs.</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	Le biodiésel produit à partir de canola entre en compétition avec l'utilisation de la matière première à des fins de production alimentaire.

Tournesol

TABLEAU 40 – TOURNESOL

Tournesol			
Latin	<i>Helianthus annuum</i>		
Anglais	Sunflower		
DESCRIPTION	<i>Plante annuelle, à gros capitules portant des fleurs jaunes et produisant de gros akènes noirs. Le tournesol est essentiellement destiné à la production d'huile alimentaire, extraite des graines. Les résidus, riches en matières azotées, sont utilisés pour l'alimentation animale sous forme de tourteaux. Il peut être cultivé comme fourrage vert et a un débouché éventuel dans la production de biocarburants.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE ET POTENTIELLE			
PRODUCTION ACTUELLE	Unités	Informations	Références
Superficie récoltée (2006)	Ha	207	Statistique Canada, 2007
Rendement (2006)	t/ha	Rendement dans le Centre du Québec : 2,3 à 2,5 t/ha	Beauregard, 2006
Quantité produite (2006)	t	Environ 500 tonnes	
PRODUCTION POTENTIELLE	Jusqu'à maintenant, le tournesol québécois semble restreint aux produits de différenciation avec une valeur ajoutée. Peu de données sont disponibles sur le potentiel réel de cette production au Québec. Entre 2001 et 2006, la superficie cultivée a augmenté de 40 %. On prévoit que le tournesol qui servira spécifiquement à produire du biodiésel dans les années à venir sera produit sur des terres moins fertiles, connaissant un rendement d'environ 1,5 tonne à l'hectare seulement.		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> Utilisé principalement dans l'alimentation humaine et les graines pour les oiseaux. Taux élevé d'acides gras polyinsaturés, source d'alpha-tocophérol (vitamine E) et de vitamine B5. Les graines de tournesol grillées sont une excellente source de phosphore, manganèse, cuivre. En 1998, le prix de la graine de tournesol était de 550 \$/tonne en 2006, il était de 400 \$/tonne (grain criblé, ensaché et vendu à la ferme avec un pourcentage de déchets de 13,4 %) (Beauregard, 2006). 		
Rendement – BIOPRODUITS	Informations		Références
Composé (s) chimique (s)	Teneur en huile : 45 à 50 %		
Rendement énergétique	<ul style="list-style-type: none"> 2,5 tonnes de graines de tournesol produisent 1 tonne de biodiésel (EcoRessources Consultants et Groupe Sine Nomine, 2007). Ainsi, avec un rendement de 1,5 t/ha, un hectare de tournesol peut produire environ 700 litres de biodiésel. Rendement énergétique de 25,83 GJ/ha. 		Contenu énergétique du biodiésel : ~ 36,9 MJ/litre.
Technologie	Transestérification		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	De manière générale, la production de biodiésel à partir de graines de tournesol est limitée par le rendement et la rentabilité à l'hectare, les marchés substitués ainsi que l'instabilité des prix. De plus, la rentabilité est aussi fonction du prix du biodiésel, lui-même fonction du prix du pétrole, des coproduits et des prix des graines oléagineuses.		
COÛTS de production \$/ha Beauregard et Brunelle, MAPAQ. (Centre du Québec, 2006)	Produits (\$/hectare)	939,20 \$	
	Charges (\$/hectare)	242,14 \$	
	Marge (\$/hectare)	296,88 \$	

AGRONOMIE	
Adoption	<i>Peu cultivé au Québec. En 2006, 207 hectares de tournesol furent cultivés. Cette culture fut notamment réalisée en Estrie, Lanaudière, en Outaouais et en Montérégie.</i>
Filière de transition	<i>Alimentation humaine (huile) et graines pour les oiseaux.</i>
Intégration	<i>Peut être cultivé sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque le tournesol est une culture annuelle.</i>
Type (s) de sol	<i>Le tournesol préfère les loams, cette plante puise l'humidité et les éléments nutritifs assez profondément.</i>
Fertilisation	<i>Cette culture est particulièrement exigeante pour les nutriments et l'eau du sol.</i>
Machinerie et Matériel	<i>Nécessite une machinerie et un matériel spécialisé pour la récolte : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, batteuse, wagon à grain.</i>
Ennemis de culture	<i>Le tournesol est très sensible à la sclérotiniose, il faut donc éviter d'introduire d'autres plantes susceptibles à cette maladie dans la rotation des cultures. Traitements herbicides indispensables.</i>
Environnement et Autres	<i>Culture moins intensive que le maïs</i>
PERCEPTION DU PUBLIC	<i>Le tournesol peut être utilisé pour la production de biodiésel. À première vue, cette culture ne semble pas être un moteur de développement pour l'industrie des biocarburants (autres marchés substitués plus rentables).</i>

Lin

TABLEAU 41 – LIN

Lin			
Latin	<i>Linum usitatissimum</i> L.		
Anglais	Flax		
DESCRIPTION	<p>Plante annuelle appartenant à la famille des Linacées, le lin est cultivé au Québec principalement pour ses graines oléagineuses qui sont riches en acide gras oméga-3. Utilisation principale dans l'alimentation animale, mais aussi très diversifiée au niveau de l'utilisation industrielle et humaine. Intéressant à intégrer dans les rotations de culture (coupe le cycle de maladie). Ayant un système racinaire superficiel, le lin résiste mal à la sécheresse. Les sols qui lui conviennent le mieux sont les loams qui retiennent bien l'humidité.</p>		
PRODUCTION ACTUELLE AU QUÉBEC ET AU CANADA	Unités	Informations	Références
Superficie récoltée (2006-2007)	ha	Québec : En 2006, cette culture occupa 1 077 hectares au Québec, 606 de plus qu'en 2001. Canada : 785 000 ha.	Statistique Canada, 2007
Rendement (2006-2007)	t/ha	1,26 t/ha (moyenne). 1,8 à 2,4 t/ha. (rendement plus élevé avec des producteurs expérimentés qui bénéficient de bonnes conditions de croissance).	Statistique Canada, 2007 Lavoie <i>et al.</i> , 2006
Quantité produite (2006-2007)	t	989 000 tonnes métriques au Canada.	Statistique Canada 2007
PRODUCTION POTENTIELLE	<p>En 2009-2010, on a eu une hausse de 10 % des superficies ensemencées, comparativement à l'année précédente et la saison 2008-2009 avait quant à elle connue une augmentation de 20 %. Il y a donc un potentiel d'accroissement de la production canadienne de lin. Les rendements des dernières années se maintiennent autour de la moyenne de 1,2 t/ha. Peu d'augmentation est donc prévisible. L'augmentation de la quantité produite devrait théoriquement suivre l'augmentation des superficies ensemencées.</p>		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Constitue une source d'acide gras oméga-3. • Utilisé principalement dans l'alimentation animale, mais de plus en plus dans l'alimentation humaine et au niveau industriel. • Recherché pour sa composition élevée en huile pour la production de biodiésel ou de biogaz. • Fabrication de l'huile. • Fibre de lin oléagineux utilisée en papeterie après décorticage, selon AAC, 350 \$/t de paille. • La paille (fibre) du lin peut servir de combustible (17 900 à 18 900 kJ/kg MS) et de litière pour les productions animales. • Tourteau sert de substitut au supplément protéique dans l'alimentation animale (teneur à 35 %). • L'huile et la paille de lin ont une multitude de possibilités de transformation industrielles à développer (ex. : peinture, lubrifiant, isolant, matériaux composites, etc.). 		

Rendement – BIOPRODUITS	Informations		Références
Composé (s) chimique (s)	La graine de lin contient : 46 % d'huile dont 57 % en acide gras oméga-3 (acide alpha linoléique), 22 % de protéines.		CRAAQ, 2006
Rendement énergétique	La teneur énergétique de la graine de lin est de 3 Mcal/kg. En tenant compte d'un rendement à l'hectare de 1,26 t/ha, cela donne un rendement énergétique d'environ 15 GJ/ha. Combustion de la paille : 17 900 à 18 900 kJ/kg M.S.		Martel, 2006 ADEME, 1998
Autres rendements			
Technologie	Fermentation (éthanol de première génération)		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	<p>La culture du lin pourrait permettre de produire à la fois du grain pour l'alimentation et de la fibre destinée à une transformation industrielle. Le Québec fut autrefois un grand producteur de lin et possède les conditions agroclimatiques nécessaires à cette culture.</p> <p>Il serait intéressant de développer des cultivars à double usage permettant de maximiser à la fois les rendements en fibres et en grains. Actuellement, la filière de transformation du lin est inexistante au Québec. Il faudrait donc voir à son développement en parallèle avec celui de la production.</p> <p>Malheureusement, le lin ne constitue pas une culture de choix pour l'industrie des biocarburants, étant donné la nature instable de l'huile du lin traditionnel (Riley, 2004). Pour le moment, le Québec possède effectivement un potentiel pour la culture du lin, mais les débouchés premiers ne seront certainement pas pour l'industrie du biodiésel.</p>		
COÛTS de production \$/ha (Beauregard et Ruel, MAPAQ 2007)	Produits	588 \$/t	
	Charges (N'est pas admissible à l'assurance récolte et stabilisation du revenu à la Financière agricole)	283,38 \$/t	
	Marge	304,62 \$/t	
AGRONOMIE			
Adoption	<i>Production marginale au Québec, toutefois elle a un potentiel intéressant et facilement intégrable aux rotations conventionnelles. En effet, la période de croissance nécessaire pour la culture du lin est d'environ 115 jours (Desilets, 2005). Le principal attrait agronomique pour cette culture réside dans sa résistance à la sclérotiniose, le lin est donc une excellente culture à incorporer dans une rotation. Présentement, quatre cultivars sont disponibles au Québec et adaptés à nos conditions (Pageau, Lajeunesse et Lafond, 2003).</i>		
Filière de transition	<i>Alimentation animale et humaine</i>		
Intégration	<i>Brise le cycle des maladies</i>		
Type (s) de sol	<i>Loam</i>		
Fertilisation	<i>Les recommandations de fertilisation à appliquer sont semblables au sarrasin pour le phosphore et le potassium (CRAAQ, 2003a). Tandis que pour l'azote, cela dépend du précédent cultural et cela varie entre 0 et 50 kg/ha. Faible besoin en azote, car elle est susceptible à la verse.</i>		
Machinerie et Matériel	<i>Machinerie et matériel standard : charrue, herse, cultivateur, épandeur, semoir, pulvérisateur, moissonneuse-batteuse, wagon à grain, faucheuse/andaineuse. Arracheuse spécialisée dans le cas du lin textile.</i>		
Ennemis de culture	<i>Le lin est une plante peu compétitrice face aux mauvaises herbes, particulièrement en début de croissance. La présence de mauvaises herbes nuit au rendement et à la qualité de la fibre. Bromoxynil/MCPA au taux de 1,0 L/ha au stade 5 cm de la culture pour M.H. dicotylédones.</i>		
Environnement et Autres	<i>La culture du lin peut apporter divers bénéfices en termes d'agriculture durable, car sa culture a peu d'impacts sur l'environnement. Cet oléagineux est utile dans la rotation des cultures puisqu'il brise le cycle des pathogènes nuisant aux graminées (céréales et maïs), aux légumineuses (soja, pois sec, haricot) et aux crucifères (canola, chou) (Turcotte, 1999).</i>		

PERCEPTION DU PUBLIC	Le développement de la transformation de la paille de lin pourrait ouvrir de nouveaux marchés et ainsi augmenter la rentabilité de la production de lin servant à l'alimentation sans entraîner d'effets négatifs sur l'industrie alimentaire. Toutefois, l'utilisation de la graine de lin à des fins autres qu'alimentaire pourrait être perçue négativement par le public.
----------------------	---

Camelina sativa

TABLEAU 42 – CAMELINA SATIVA

Cameline		
Latin	<i>Camelina sativa</i>	
Anglais	Camelina	
DESCRIPTION	<i>Plante de la famille des crucifères, on la cultive comme huile pour l'alimentation humaine et animale. Niveau très élevé d'acide gras oméga 3. Plus de 50 % des acides gras de la cameline sont polyinsaturés.</i>	
PRODUCTION ACTUELLE ET POTENTIELLE		
<p>Dans le Midwest des États-Unis, les rendements sont de 0,75 à 2,51 t/ha (Stratton <i>et al.</i>, 2007). Au Québec, la culture est à l'état d'essai. Le soya et la cameline ont été semés selon différents taux de semis et les superficies récoltées varient de 24,7m² à 44,5 m². Les rendements de ces essais varient entre 170 et 478 kg/ha lorsque le semis est fait simultanément avec le soya. Un résultat isolé d'une des répétitions suggère un potentiel jusqu'à 500 kg/ha en production intercalaire avec le soya (Bérubé et Surdek, 2009).</p>		
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Elle est principalement cultivée pour en extraire de l'huile, utilisée anciennement dans les lampes à pétrole ou plus récemment dans les cosmétiques ou dans l'alimentation humaine car elle est très riche en oméga-3. • Se caractérise par un taux d'humidité d'environ 9 % et d'un contenu en gras autour de 33,5 %. • Les potentiels d'utilisation de la cameline sont nombreux : l'huile alimentaire, les cosmétiques, le biodiésel, l'alimentation des oiseaux et du bétail, les cultures intercalaires, etc. 	
Rendement – BIOPRODUITS	Informations	Références
Composé (s) chimique (s)	Acides gras. Les résultats d'essais au Québec démontrent une teneur en oméga 3 (acide alpha-linolénique (ALA) et 6 (acide linoléique) élevée, semblable à celle retrouvée dans la littérature.	Bérubé C. et N. Surdek, 2009
Rendement énergétique	Des producteurs américains ont obtenu des rendements de 100 gallons/acre soit 934 litres/ha de cameline (monoculture). Soit 34,48 GJ/ha. Contenu énergétique du biodiésel : ~ 36,9 MJ/litre.	
Technologie	Transestérification (biodiésel)	
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	<p>L'huile de cameline issue des essais au Québec (2008) démontre une teneur de 2,56 % d'acide érucique, quantité supérieure à celle acceptée pour satisfaire la norme de qualité du canola de moins de 2 % selon Santé Canada. Des sélections sont en cours afin de réduire cette teneur d'acide érucique qui serait toxique, lorsque consommée en grande quantité.</p> <p>Le contenu en fibres dans l'analyse du tourteau est semblable aux teneurs retrouvées dans la littérature. Toutefois, le pourcentage de protéines est plus faible comparativement à ce qui est normalement analysé soit environ 30 %, comparativement à 37 % pour la cameline cultivée dans l'état du Montana. La consommation de ce tourteau représente toutefois un apport significatif d'omégas 3 et 6 dans la diète des animaux.</p> <p>Étant donné le coût de production actuel et le prix des carburants, il est difficilement envisageable d'utiliser cette huile pour la fabrication de biodiésel car elle est trop coûteuse. Compte tenu de ses qualités, il est plus envisageable de considérer le marché de l'alimentation humaine qui sera vraisemblablement plus lucratif.</p> <p>Par contre, il est vraisemblable que l'on puisse réduire le coût de production en travaillant sur plusieurs aspects agronomiques et de transformation.</p>	

COÛTS de production \$/ha	Coût de production et de transformation	<p>Une étude révèle qu'au Montana, les coûts de production s'élèvent entre 111 et 167\$/ha (Stratton <i>et al.</i>, 2007).</p> <p>Les essais en simultané au Québec démontrent que les coûts des semences et du semis s'élèvent à 60 \$/ha. À ce coût viendraient s'ajouter les frais de battage et de criblage (environ 80 \$/ha). Du côté de la transformation, produire de l'huile de cameline s'élèverait à un total de 2,26 \$/litre en utilisant un procédé de pressage à froid artisanal.</p>
AGRONOMIE		
Adoption	<i>Quelques essais ont été effectués en Montérégie en 2007 et 2008. La cameline est d'abord utilisée comme plante intercalaire dans les champs de soya afin d'augmenter potentiellement la rentabilité à l'hectare. En 2009, d'autres essais ont eu lieu dans les régions de Charlevoix et du Bas-St-Laurent.</i>	
Filière de transition	<i>Alimentation animale et humaine.</i>	
Intégration	<i>Peut être cultivée sur des terres en friche, mais l'implantation en bandes riveraines est non recommandée, puisque la cameline est une culture annuelle.</i>	
Type (s) de sol	<i>Tous types de sols. Sols adaptés à la culture du soya. Peut être cultivée sur un sol pauvre, dans des régions sèches ou de hautes latitudes.</i>	
Fertilisation	<i>Il existe peu de données sur cette plante. Si elle est utilisée avec le soya, il faudra adapter la fertilisation communément utilisée pour le soya à l'ensemble des deux cultures.</i>	
Machinerie et Matériel	<i>En tant que plante intercalaire, elle va être récoltée en même temps que le soya donc elle nécessite le même type de machinerie.</i>	
Ennemis de culture	<i>Il n'existe pas d'herbicide homologué pour la cameline sur le marché. Pour les essais faits au Québec, il fut difficile de trouver des familles d'herbicide qui vont contrôler tout le spectre de mauvaises herbes pour des parcelles occupées par les deux familles de plante que sont les Brassicaceae (cameline) et Fabaceae (soya).</i>	
Environnement et Autres	<i>Culture peu intensive.</i>	
PERCEPTION DU PUBLIC	<p>Le tourteau de cameline a une valeur énergétique comparable au tourteau de canola. Ses grains peuvent être utilisés pour produire du biodiésel. Compte tenu des incertitudes agronomiques liées à la régie de cette nouvelle culture, les essais sont en cours actuellement.</p>	

Matières organiques résiduelles végétales

Paille de céréales

TABLEAU 43 – PAILLE DE CÉRÉALES

Paille			
Latin	-		
Anglais	Straw		
DESCRIPTION	<i>La paille est la partie de la tige de certaines céréales à paille (blé, orge, avoine, seigle, riz), coupée lors de la moisson et rejetée, débarrassée des grains sur le champ par la moissonneuse-batteuse sous forme d'andains.</i>		
PRODUCTION ACTUELLE et POTENTIELLE	Informations		Références
Indice de récolte (2008) et Rendement en paille (2008)	<p>Le potentiel maximal de production de paille de céréales est calculé selon la formule suivante : superficie en inventaire * rendement * indice de récolte. La production de paille pour le blé, l'avoine et l'orge a été calculée. Indice de récolte (rapport du poids des grains par rapport à la matière sèche totale) du :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Blé de printemps : 0,42 (0,45 +0,38)/2 ○ Orge : 0,46 (0,48 +0,43)/2 ○ Avoine : 0,39 (0,35 +0,42)/2 <p>Les rendements en paille sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Blé : 0,49 t/ha ○ Avoine : 0,32 t/ha ○ Orge : 0,55 t/ha 		CRAAQ, 2003a
Quantité produite (2008)	La production de paille de céréales s'élève à 110 620 tonnes.		Basés sur les superficies récoltées de grains et les rendements en grains en 2008 (ISQ, 2009)
PRODUCTION POTENTIELLE	Unités	Informations	Justificatifs
Quantité produite	t	Selon les données de rendements moyens entre 1998 et 2008, la production maximale de paille de céréales s'élèverait à environ 126 707 tonnes.	ISQ, 2009 et CRAAQ, 2003a.
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisée principalement comme litière. • Les pailles sont riches en matière cellulosique et pauvres en minéraux avec une faible teneur en matière azotée. • La valeur énergétique des pailles de céréales est moindre que celle des fibres de maïs. • Au Québec et en Ontario, la paille se vend autour de 100 \$/tonne, ce qui est trop élevé pour produire des biocarburants; alors qu'elle se vendrait 50 \$/tonne dans l'ouest du Canada et les Prairies. 		

Rendement – BIOPRODUITS	Informations	Références
Composé (s) chimique (s)	Composés ligno-cellulosiques pouvant servir à la production d'éthanol cellulosique ou pour la production de biogaz lorsque la paille est utilisée dans les déjections animales.	
Rendement énergétique pour la production d'éthanol cellulosique	<p>Paille de blé et d'avoine : 340 litres d'éthanol/tonne sèche.</p> <p>On peut supposer que le rendement énergétique de la paille d'avoine est le même que ceux du blé et de l'orge.</p> <p>On obtient donc en moyenne un rendement énergétique de 4,37 GJ/ha de céréales.</p>	<p>Ce rendement (340 litres/tonne sèche) est identifié par Sheehan et al., 2004, comme étant un rendement potentiel qui sera atteint éventuellement avec le développement de technologies plus efficaces.</p> <p>Contenu énergétique de l'éthanol : ~ 28 200 kJ/litre.</p>
Technologie	Éthanol cellulosique. Biogaz.	
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	La production d'éthanol cellulosique à partir de résidus de céréales permet de valoriser ces sous-produits tout en n'utilisant pas de terres pour des productions à des fins alimentaires.	
Coûts de production	Le coût de récolte varie d'un mode de production à l'autre. Les budgets de production du MAPAQ établissent un coût de la paille pour déterminer sa valeur au champ (avant récolte). La moyenne des budgets 2005, 2006 et 2007 pour l'avoine, l'orge et le blé mène à une valeur d'environ 94,28 \$. L'ensemble des coûts de récolte et de transport devra donc être capté par cette valeur.	
AGRONOMIE		
Adoption	<i>Dans toutes les régions productrices de céréales, les exploitants valorisent les pailles sous diverses formes : litière, paillis retourné au sol; etc.</i>	
Filière de transition	<i>Alimentation animale et litière.</i>	
Machinerie et Matériel	<i>Afin de récolter et valoriser les pailles une fois le grain battu, la machinerie nécessaire est constituée d'une faucheuse et d'une ramasseuse-presse.</i>	
Environnement et Autres	<i>Si les pailles sont vendues hors de l'exploitation à des fins de production de biocarburants, alors qu'elles étaient normalement retournées au sol, il faudra veiller à l'équilibre de taux de matière organique dans les sols de l'exploitation agricole.</i>	
PERCEPTION DU PUBLIC	La paille de céréales possède un potentiel énergétique faible par rapport aux tiges de maïs, panic érigé, copeaux de bois et autres matières cellulosiques. Toutefois, l'utilisation des pailles plutôt que les grains pour la production d'éthanol de seconde génération diminue largement les conflits potentiels d'usage des céréales entre l'alimentation et l'énergie.	

Fibre/tiges de maïs

TABLEAU 44 – TIGES DE MAÏS

Tiges de maïs		
Latin	-	
Anglais	Corn stover	
DESCRIPTION	<i>Les tiges et les feuilles de maïs sont peu valorisées lors de la moisson du grain et peuvent toutefois servir à produire de l'éthanol cellulosique ou d'autres bioproduits et également du biogaz en mélange dans un digesteur avec des fumiers et autres résidus.</i>	
PRODUCTION ACTUELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>
Rendement en fibre (2008)		Le potentiel maximal de production de fibre de maïs est calculé selon la formule suivante : superficie en inventaire * rendement * indice de récolte. Indice de récolte pour le maïs-grain (2008) = 0,5. Rendement en fibre de maïs : 4,125 t/ha.
Quantité produite (2008)	t	En moyenne, la production maximale de fibre de maïs s'élève à 1,575 millions de tonnes.
PRODUCTION POTENTIELLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>
Quantité produite	t	Selon les estimations de production moyenne de maïs-grain entre 1998 et 2008, le volume potentiel de fibre de maïs pourrait s'élever à 192 978 de tonnes, sans tenir compte des quantités requises pour les apports en matière organique.
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Actuellement au Québec, la fibre de maïs n'est pas récoltée et est laissée sur pied au champ compte tenu des conditions humides automnales, la récolte est très difficile. • La fibre de maïs a une valeur fertilisante élevée principalement en phosphore et potassium, mais son incorporation dans le sol nécessite également un fertilisant azoté pour permettre la décomposition. Son incorporation augmente le taux de matière organique dans le sol. • Mais l'utilisation de la fibre de maïs à l'extérieur de la ferme pourrait permettre la mise en œuvre de pratiques agricoles moins intensive comme le semi-direct. • La valeur énergétique de la fibre est semblable à celle des céréales mais bien plus élevée que celles des pailles de céréales. • Il existe très peu d'informations sur la collecte de la fibre de maïs au Canada. La collecte et la chaîne d'approvisionnement au Québec et en Ontario doivent encore être testées et déterminées. 	
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	Composés ligno-cellulosiques (éthanol cellulosique)	
Rendement énergétique	Avec un rendement de 340 litres éthanol/tonne sèche, on obtient 1 402,5 litres éthanol/ha de maïs, ou encore 39,5 GJ/ha.	Ce rendement est identifié par Sheehan, J., <i>et al.</i> (2004), comme étant un rendement potentiel qui sera atteint éventuellement avec le développement de technologies plus efficaces. Contenu énergétique de l'éthanol : ~ 28 200 kJ/litre.
Technologie	Éthanol cellulosique	

ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Le principal inconvénient au Québec est qu'actuellement, la fibre de maïs n'est pas récoltée et difficilement récoltable dans les conditions climatiques de la province.
Coûts de production	Différentes technologies sont en développement pour la récolte de la fibre du maïs. Un système à deux passages (un passage au champ pour battre le grain et un autre pour récolter la fibre) est la méthode préconisée jusqu'à ce jour. Avec un tel système, le coût de récolte de la fibre de maïs est évalué à une dizaine de dollars par tonne sèche. Par contre, le transport de cette biomasse sous sa forme humide augmente considérablement le coût total associé à sa récolte et son utilisation pour la fabrication de bioproduits. À l'opposé, le perfectionnement d'un système à un passage (récoltant à la fois grains et fibre de manière séparée) pourrait éventuellement diminuer ce coût.
AGRONOMIE	
Adoption	Dans toutes les régions agricoles productrices de maïs-grain, il serait possible de valoriser la fibre de maïs. Mais il faudra tout d'abord surmonter des problèmes techniques de récolte, séchage et stockage.
Filière de transition	Actuellement la fibre n'est pas valorisée.
Environnement et Autres	L'utilisation à l'extérieur de la ferme de la fibre du champ devra être compensée par l'apport de fertilisants riches en phosphore et potassium. Il est donc envisagé de ne pas utiliser toute la fibre et d'en laisser plutôt une portion au champ à des fins d'apport de fertilisant et de protection des sols.
PERCEPTION DU PUBLIC	L'utilisation de la fibre de maïs permettrait de valoriser la plante entière et pas seulement le grain. De plus, l'utilisation de cette source de biomasse pourrait diminuer largement les conflits potentiels d'usage des céréales entre alimentation et énergie. Par contre, elle pourrait entraîner un autre conflit concernant l'apport de matière organique pour la fertilité des sols à long terme.

Résidus forestiers

TABLEAU 45 – RÉSIDUS FORESTIERS

Résidus forestiers			
DESCRIPTION	<i>Les résidus forestiers proviennent des branches, de résidus de coupe non exploités, de houppiers, d'aiguilles de conifères, de même que des résidus de transformation, comme l'écorce, la sciure, les rabotures et les copeaux.</i>		
VOLUME DE BIOMASSE DISPONIBLE	<u>Unités</u>	<u>Informations</u>	<u>Références</u>
Terrains forestiers productifs (pente de 0 % à 40 %)	km ²	424 114	MNRF, 2008
Volume marchand brut	m ³	3 791 919	MNRF, 2008
RENDEMENT DE L'EXPLOITATION FORESTIERE			
La biomasse d'origine forestière provient à 61 % de résineux et à 39 % de feuillus. Sur la totalité de cette biomasse, il ne reste en fait que 47 % correspondant au volume marchand dont 15 % de résidus d'exploitation forestière et de transformation du bois. Ce volume est largement utilisé depuis quelques années.			
Attributs/Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • La biomasse forestière est utilisée telle quelle ou après une première transformation (broyage) pour le chauffage des infrastructures. • La biomasse forestière peut être transformée en granule et ainsi être utilisée en tant que combustible de chauffage. • La biomasse forestière peut être utilisée dans la production animale en tant que litières animales. • La biomasse forestière peut être une source de production d'éthanol. (procédé de transformation de la cellulose en éthanol). • La biomasse forestière peut être utilisée dans la production horticole sous forme de paillis. 		
Rendement – BIOPRODUITS	<u>Informations</u>		<u>Références</u>
Composé (s) chimique (s)	Cellulose/hémicellulose		CEPAF, 2007
Rendement énergétique	5000 kWh/t (combustion)		
	16 à 19,1 GJ/t (granules)		Kalyan, A. et Ishwar K. Puri., 2009
	265 à 303 litres/t (éthanol)		Brodeur, C., <i>et al.</i> , 2008d
Autres rendements	Difficile de déterminer un rendement concernant la production de paillis ou de litière.		
Technologie	Broyage/Déchetage, granulation, hydrolyse, fermentation (éthanol de 2 ^e génération).		
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	Dans le cadre du développement d'énergie verte, l'utilisation de la biomasse forestière pour la production d'énergie devient plus importante. Il est à noter que le volume de biomasse agricole n'étant pas très important, l'utilisation en complément d'un volume de biomasse forestière pour la réalisation de paillis, granules, litières serait un excellent compromis.		
LÉGISLATION	Les usines forestières de transformation primaire du bois sont régies par la Loi sur les forêts et autres dispositions législatives (2001 chapitre 6). L'article 162 stipule l'obligation d'avoir l'autorisation du ministre pour construire, augmenter la capacité, changer la localisation ou la catégorie d'une usine de transformation de bois. Cela s'applique à toutes les usines consommant annuellement 2 001 m ³ et plus.		

Résidus du secteur de la transformation agroalimentaire

Les graisses et huiles animales contenues, d'une part, dans les boues issues de l'abattage et de la découpe de viandes et, d'autre part, dans les carcasses d'animaux morts à la ferme peuvent être valorisées par les filières des biocarburants et du biogaz. Du fait que ces boues sont pour l'instant en grande partie destinées à l'enfouissement, au compostage et à la valorisation agricole (amendements, fertilisants), elles présentent un intérêt certain pour la production d'énergie. Il semble que la production de biodiésel à partir des corps gras contenus dans ces matières constitue l'option à privilégier (Gagnon *et al.*, 2005). Les déchets domestiques et les gras (résidus d'usines agroalimentaires ou d'abattoirs), peuvent également servir à produire du biogaz. Ceux-ci ont des coefficients de production de biogaz très élevés. Les résidus qui contiennent des matières ligno-cellulosiques, résidus des industries de transformation de fruits et légumes pourront également être valorisés en éthanol cellulosique de 2^e génération. Toutefois, les informations concernant les quantités de ces matières qui sont actuellement produites au Québec sont limitées, et relève plutôt du secteur industriel. Ainsi, la valorisation de ces matières n'entraînerait fort probablement pas plus de bénéfice pour le secteur agricole québécois, mais pourrait représenter de grandes opportunités pour le secteur de la transformation bioalimentaire.

Matières organiques résiduelles animales

Déjections

TABLEAU 46 – DÉJECTIONS ANIMALES

Déjections animales			
Latin	-		
Anglais	Manure		
DESCRIPTION	<p><i>Les déjections de bovins, porcins et volailles et autres animaux sont actuellement valorisées à la ferme par l'épandage de fumier, mais cela pose de nombreux problèmes agroenvironnementaux (odeurs, pollution due au phosphore). Elles peuvent être traitées par méthanisation pour obtenir du biogaz, et il peut être ensuite converti en chaleur ou en électricité.</i></p>		
PRODUCTION ACTUELLE	Unités	Informations	Références
Quantité produite (2008)	t	<p>Cinq principaux secteurs ont été retenus : secteurs laitier, bovin, porcine, ovin et volaille. Quantité de biomasse organique = nombre de têtes en inventaire * facteur de conversion * taux de rotation annuelle. Voir Tableau 4.</p>	<p>La quantité de fumier a été estimée avec les données d'inventaire du cheptel compilées par Statistique Canada et converties en charge fertilisante (tonne fumier) à partir des facteurs de conversion publiés par le CRAAQ.</p>
PRODUCTION POTENTIELLE	Unités	Informations	Justificatifs
Attributs/Marchés	<p>Utiliser les fumiers pour la production de biogaz dans le but de produire de la chaleur ou de l'électricité n'empêche pas de les utiliser par la suite en tant qu'amas au champ.</p>		
Rendement – BIOPRODUITS	Informations		Références
ÉVALUATION DU POTENTIEL GLOBAL POUR LE QUÉBEC	<p>La production totale de déjections pour la province de Québec en 2006 est évaluée à 16 744 232 tonnes de fumier, toutes espèces animales confondues. Cette production représente un potentiel s'élevant entre 272 et 582 millions de m³ de biogaz, qui se traduit par une production énergétique entre 4 953 839 et 9 873 830 GJ.</p>		
COÛTS de production	<p>Les coûts de production des fumiers sont compris dans les coûts de production des exploitations animales. En théorie, la valorisation des fumiers comprendrait alors des frais de transport (si méthanisation hors exploitation) sans pour autant diminuer les frais d'épandage.</p>		

AGRONOMIE	
Intégration	<p>Des biodigesteurs peuvent être installés sur des exploitations ou bien être centralisés dans une région. Au Québec, deux bioréacteurs sont installés sur des fermes porcines. Elles traitent le lisier à l'aide de la technologie conçue par Bio-Terre Systems inc. qui leur permettent de produire de l'énergie (chaleur et électricité).</p> <p>Actuellement, la majeure partie du fumier produit sur les exploitations agricoles est utilisée à des fins de fertilisation à la ferme. Ainsi, la valorisation de ces déchets devra sans doute se faire collectivement.</p>
Environnement et Autres	<p>Afin de valoriser les installations et d'obtenir un bon rendement, l'intégration des sources de biomasse autres que strictement agricoles devrait être envisagée.</p>
PERCEPTION DU PUBLIC	<p>La digestion anaérobie en milieu agricole favorise l'amélioration de la cohabitation, en milieu rural, avec l'amélioration de la qualité de l'eau, de l'air et par conséquent de la santé publique en milieu rural.</p>

TABLEAU 47 – FACTEURS DE CONVERSION ET TAUX DE ROTATION (ÉLEVAGE)

SECTEUR	CATÉGORIE	Facteur de conversion (kg/tête/durée d'élevage)	Taux de rotation
Laitier	Vaches laitières	13600	1
	Taureau > 1 an ¹	5464	1
	Génisse et taure ²	6040	1
Boucherie	Veau de lait ³	1550	2,6
	Veau de grain	1778	1,8
	Bouvillons	4770	1,2
	Vache de boucherie (incluant son veau)	11400	1
	Génisse et taure	6825	1
	Taureau > 1 an	10688	1
Porcin ⁴	Truies et cochettes de reproduction	1360	
	Porcelets sevrés et non sevrés	610	
	Porcs d'engraissement	1290	
	Verrats	1360	
Ovin ⁵	Brebis	1254	1
	Béliers	1103	1
	Agneaux de lait	995	1
	Agneaux légers	27	1
	Agneaux lourds	98	1
Volaille ⁶	Poulet à griller	1,53	6,5
	Poulet à rôtir	1,93	5

Sources : CRAAQ et Statistique Canada

¹ Étant donné que les données d'inventaire ne permettent pas de distinguer les taureaux selon le secteur de production, 1/3 de l'inventaire dans cette catégorie a été attribué au secteur laitier tandis que les 2/3 restants ont été imputés au secteur bovin.

² Vu que les données d'inventaire ne permettent pas de distinguer les taures des génisses, le coefficient de conversion retenu pour estimer leur production de fumier résulte de la moyenne arithmétique des coefficients spécifiques à chacune de ces catégories.

³ Vu que les données d'inventaire ne permettent pas de distinguer les veaux de grain des veaux de lait, la répartition des volumes assurés par l'ASRA a été utilisée, soit : 33 % et 67 % en 2006.

⁴ Afin de demeurer fidèle aux catégories du recensement, les coefficients de conversion fournis par Statistique Canada ont été utilisés. Ils sont sur base annuelle et sont estimés à partir de données d'élevages américains.

⁵ Vu que les données d'inventaire ne permettent pas de distinguer les agneaux de lait, des agneaux légers et des agneaux lourds, l'inventaire pour ces catégories a été estimé selon la proportion établie par le modèle de l'ASRA 2006, soit 30 %, 20 % et 50 % respectivement.

⁶ Comprend les poulets à griller et poulets à rôtir. Étant donné que les données d'inventaire ne permettent pas de distinguer les poulets à griller des poulets à rôtir, l'inventaire pour ces catégories a été estimé selon une proportion respective de 80 % et 20 %.

TABLEAU 48 – PRODUCTION DE BIOMASSE RÉSIDUELLE ANIMALE, BIOGAZ, MÉTHANE ET ÉNERGÉTIQUE

Matière Première	Production totale de biomasse en 2006		Production de biogaz et de méthane			Production brute d'énergie
	tonnes	m ³ de biogaz/tonne ¹	m ³ de biogaz	Teneur en méthane (% de CH ₄) ²	m ³ de méthane	GJ ³
Fumier de bovins laitiers	6 330 803	13 – 32	82 300 439 – 202 585 697	54	44 442 237 – 109 396 276	1 599 920 – 3 938 265
Fumier de bovins de boucherie	5 274 084	13 – 32	68 563 088 – 168 770 679	53	36 338 437 – 89 448 460	1 308 184 – 3 220 145
Fumier et lisier porcin	4 581 862	16 – 23	73 309 797 – 105 382 834	58	42 519 682 – 61 122 043	1 530 708 – 2 200 393
Fumier ovin	252 964	99	25 043 489	n.d.	-	-
Fumier de volailles	304 519	87	26 493 181	54	14 306 318	515 027
Total	16 744 232	-	275 709 994 – 582 275 880	-	137 606 674 – 274 273 097	4 953 839 – 9 873 830

1 Référence : Fischer, 2007 dans Brodeur, C. *et al.*, 2008a.

2 Teneur en méthane du biogaz, source : Navaratnasamy *et al.*, 2007.

3 PCI de 36 MJ/m³ de méthane; 1 GJ = 1 MJ/1000

Sources :

Centre de recherche en agriculture et agroalimentaire du Québec (2003a);

Centre de recherche en agriculture et agroalimentaire du Québec (2003b);

Navaratnasamy *et al.*, (2007);

Statistique Canada (2007).