

La production d'**éthanol**  
à partir de **grains de maïs**  
et de **céréales**



Centre de référence en agriculture  
et agroalimentaire du Québec

## Avertissements

Au moment de sa rédaction, l'information contenue dans ce document était jugée représentative des connaissances sur les bioénergies et son utilisation demeure sous l'entière responsabilité du lecteur. Certains renseignements pouvant avoir évolué de manière significative depuis la rédaction de cet ouvrage, le lecteur est invité à en vérifier l'exactitude avant de les mettre en application.

Cette série de fiches concrétise le projet *Développement d'outils spécifiques aux énergies pour les conseillers agricoles du Québec* réalisé dans le cadre du programme *Initiative d'appui aux conseillers agricoles*, selon les termes de l'entente Canada-Québec sur le Renouveau du Cadre stratégique agricole.



Canada



## Pour information

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec  
2875, boulevard Laurier, 9<sup>e</sup> étage  
Québec (Québec) G1V 2M2  
Téléphone : 418 523-5411  
Télécopieur : 418 644-5944  
Courriel : [client@craaq.qc.ca](mailto:client@craaq.qc.ca)  
Site Internet : [www.craaq.qc.ca](http://www.craaq.qc.ca)

Publication n° EVC 029

© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2008

## *Rédaction*

Catherine Brodeur, M.Sc., chargée de projets, Groupe AGÉCO, Québec  
Jacques Cloutier, ingénieur, ingénieur de projet, BPR Infrastructure inc., Québec  
David Crowley, ingénieur junior, chargé de projets, Agrinova, Alma  
Xavier Desmeules, agronome, chargé de projets, Agrinova, Alma  
Sylvain Pigeon, M.Sc., ingénieur, chargé de projet, BPR Infrastructure inc., Québec  
Rosalie-Maude St-Arnaud, B.Sc., analyste, Groupe AGÉCO, Québec

## *Révision*

Gérard Goyette, M.Sc., conseiller en biotechnologie, MAPAQ, Direction de l'innovation scientifique et technologique, Québec  
Daniel-Yves Martin, M.Sc., ingénieur, chercheur, IRDA, Québec  
Denis Naud, ingénieur, MAPAQ, Direction de l'environnement et du développement durable, Québec  
Richard Wieland, agronome, directeur recherche et développement des affaires, Agrinova, Alma

## *Coordination*

Joanne Lagacé, chargée de projets, CRAAQ, Québec  
Lyne Lauzon, biologiste, coordonnatrice aux publications, CRAAQ, Québec

## *Édition*

Chantale Ferland, M.Sc., chargée de projets aux publications, CRAAQ, Québec

## *Mise en page*

Jocelyne Drolet, agente de secrétariat, CRAAQ, Québec

## *Conception graphique*

Chantal Gauthier, agente de secrétariat, CRAAQ, Québec

## *Photos de la page couverture*

CRAAQ  
Éric Labonté, MAPAQ

## *Remerciements*

Gaston Brouillard, producteur de maïs-grain pour la production d'éthanol, Saint-Aimé, Montérégie

## TABLE DES MATIÈRES

Introduction .....	1
L'éthanol produit à partir de biomasse .....	1
<i>L'éthanol de première et de seconde génération</i> .....	1
<i>La composition chimique et le rendement</i> .....	2
Le processus de fabrication .....	2
<i>Les coproduits générés</i> .....	3
L'utilisation de l'éthanol .....	3
<i>L'éthanol dans les véhicules à essence</i> .....	3
<i>Performance comparée</i> .....	4
L'éthanol ailleurs dans le monde .....	4
<i>Brésil</i> .....	4
<i>États-Unis</i> .....	5
La production d'éthanol au Québec et au Canada .....	5
<i>Les incitatifs gouvernementaux canadiens</i> .....	6
<i>Les incitatifs gouvernementaux québécois</i> .....	6
<i>La rentabilité de la production d'éthanol : tributaire du prix des intrants ...     et du soutien gouvernemental</i> .....	7
La production de maïs destiné au marché de l'éthanol .....	7
<i>La mise en marché</i> .....	8
<i>La rentabilité de la production, les avantages et les inconvénients</i> .....	8
Une filière aux multiples enjeux.....	9
Références .....	11

## Introduction

La diminution des ressources en énergies non renouvelables et la préoccupation grandissante devant l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre entraînent la nécessité de trouver des sources d'énergie alternatives aux carburants fossiles. L'éthanol produit à partir d'une ressource renouvelable, les sucres fermentescibles contenus dans les végétaux, est apparu comme l'un des substituts tout désigné à l'essence utilisée dans les véhicules. Cette production, déjà bien implantée au Brésil, a connu un développement rapide au cours des dernières années en Amérique du Nord et en Europe. Les États-Unis sont ainsi devenus, en 2006, le principal producteur d'éthanol au monde. Or, cette production, essentiellement réalisée à partir de grains de maïs, soulève de nombreux enjeux sur les plans environnemental, social et économique. Pendant ce temps au Québec et au Canada, la production d'éthanol en est encore à ses tout débuts. Quel est au juste le potentiel de cette production? Qu'en est-il réellement des enjeux qu'elle soulève? Cette fiche d'information vise à fournir un ensemble d'information sur la production d'éthanol, ses perspectives, ses débouchés et les enjeux qu'elle soulève, afin d'éclairer les conseillers agricoles qui doivent appuyer des producteurs dans des décisions touchant la production d'énergie. Elle traite plus spécifiquement de l'éthanol produit à partir de maïs et de céréales. L'éthanol produit à partir de matière lignocellulosique fait l'objet d'une fiche distincte.

## L'éthanol produit à partir de biomasse

L'éthanol n'est rien de plus que l'alcool contenu dans les boissons alcoolisées consommées par les humains depuis la nuit des temps. Il est le produit de la fermentation des sucres. Le bioéthanol est de l'éthanol élaboré à partir de biomasse. Il est obtenu par la fermentation des sucres fermentescibles (hexoses – sucres à six carbones) contenus dans la biomasse. Il peut être élaboré à partir de biomasse riche en sucrose (canne à sucre, betterave sucrière, etc.), en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.) ou en cellulose (résidus agricoles tels que la paille ou les cannes de maïs, résidus forestiers, cultures énergétiques telles que le panic érigé ou des arbres à courte rotation). Quelle que soit la biomasse utilisée, le produit final est le même, seul le procédé de fabrication diffère. Alors que le glucose contenu dans la biomasse riche en sucrose peut être directement fermenté par les microorganismes, celui contenu dans l'amidon et la cellulose n'est pas directement disponible. Les chaînes de glucose contenues dans ces polysaccharides doivent être au préalable fragmentées par un procédé appelé hydrolyse enzymatique.

### *L'éthanol de première et de seconde génération*

Le procédé d'hydrolyse enzymatique qui s'applique aux plantes riches en amidon comme le maïs et les céréales est relativement simple et bien maîtrisé. C'est pourquoi il a fait l'objet d'un développement à l'échelle commerciale au cours des dernières années en Amérique du Nord. L'éthanol élaboré à partir de plantes riches en sucres ou en amidon est dit de « première génération » parce qu'il est produit à l'aide de procédés industriels qui ont atteint leur maturité. Dans le cas de l'éthanol produit à partir de matière lignocellulosique, couramment appelé éthanol cellulosique, le procédé d'hydrolyse enzymatique est beaucoup plus complexe et laborieux puisque la matière lignocellulosique est formée d'une matrice rigide difficile à déstructurer pour libérer la cellulose. Les premières étapes conduisant à la

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

production d'éthanol cellulosique à partir de la matière lignocellulosique comporte encore des défis sur le plan technologique. Pour cette raison, l'éthanol cellulosique est dit de « seconde génération ». Les bilans énergétique et environnemental des biocarburants de seconde génération sont considérés comme supérieurs à ceux de première génération. Cependant, parce que la rentabilité des procédés reste à démontrer, leur production ne se fait pas encore à l'échelle industrielle et, pour l'heure, la filière prédominante est donc celle de première génération.

### *La composition chimique et le rendement*

L'éthanol, ou alcool éthylique, est un composé chimique constitué de carbone, d'hydrogène et d'oxygène ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) alors que l'essence qu'il remplace est un hydrocarbure et est uniquement constitué de carbone et d'hydrogène.

Pour produire l'éthanol, la canne à sucre sert de matière première principalement dans les pays à climat chaud, comme c'est le cas au Brésil, alors que la betterave sucrière est surtout utilisée en Europe. La canne à sucre et la betterave sucrière sont les matières premières qui fournissent les meilleurs rendements en éthanol par hectare cultivé (Tableau 1). En Amérique du Nord, ce sont plutôt les plantes riches en amidon (maïs-grain et blé) qui servent d'intrants à la production de bioéthanol.

**Tableau 1. Rendement de l'éthanol en fonction de la matière première**

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

Tiré de Worldwatch Institute

Contrairement au biodiesel qui est constitué de plusieurs composés chimiques, le bioéthanol est un composé unique. Par conséquent, ses caractéristiques sont identiques quels que soient la matière première et le procédé utilisés.

### Le processus de fabrication

La fabrication d'éthanol est un procédé connu depuis très longtemps. Le procédé industriel le plus commun recourt à des traitements physique, thermique, chimique et biochimique, qui visent ultimement à permettre la fermentation du glucose provenant de l'amidon des grains ou des tubercules et à produire l'alcool éthylique (éthanol). Le procédé décrit ici s'applique au mode de production privilégié jusqu'ici en Amérique du Nord, soit la production d'éthanol à partir de grains riches en amidon (maïs, blé, etc.). Ces grains contiennent généralement de 65 à 70 % d'amidon.

**1. Broyage :** le broyage des grains (maïs, blé) se fait à l'aide d'un broyeur à marteaux afin de produire une farine à granulométrie fine.

**2. Liquéfaction :** l'eau et une première enzyme (alpha-amylase) sont ajoutées à la farine. Le mélange est porté à haute température (120 à 150 °C) dans un cuiseur pour des fins de pasteurisation et pour liquéfier l'amidon du grain.

**3. Saccharification :** après refroidissement, une seconde enzyme (glucamylase) est ajoutée afin de convertir l'amidon en glucose qui est un sucre fermentescible (ex. : dextrose).

**4. Fermentation :** l'ajout de levures entraîne la fermentation des sucres. Cette réaction se produit soit en continu dans plusieurs fermenteurs séquentiels ou en discontinu, pendant une période de l'ordre de 48 heures. Les produits résultant de cette réaction sont l'éthanol et le dioxyde de carbone.

**5. Distillation :** la liqueur fermentée ou bière contient entre 8 et 15 % d'alcool. L'éthanol est séparé de la liqueur par un système de distillation à plusieurs colonnes qui fournit un alcool pur à 96 %.

**6. Déshydratation :** pour les besoins de commercialisation, l'éthanol est déshydraté par un tamis moléculaire. L'éthanol est alors dit « anhydre ». Un dénaturant y est ajouté en petite quantité (2 à 5 %) afin d'éviter qu'il soit commercialisé sur le marché de l'alimentation humaine.

### *Les coproduits générés*

Deux coproduits sont générés par la fabrication d'éthanol : les drèches résultant de la distillation et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) produit lors de la fermentation. Les drèches contiennent les protéines (30 à 35 %), l'huile (5 à 10 %) et la fibre des grains ainsi que de l'amidon résiduel. Elles trouvent un débouché dans le secteur de l'alimentation animale. Une fois récolté, nettoyé des impuretés (alcool résiduel) puis comprimé, le dioxyde de carbone trouve quant à lui un débouché dans la fabrication des boissons gazeuses et de la glace sèche ou dans les processus de refroidissement rapide des aliments. Au total, une tonne de grains permet de produire entre 350 et 450 l d'éthanol, entre 300 et 325 kg de drèches et 350 kg de dioxyde de carbone. Avec un hectare de maïs (9 t/ha), on peut donc produire plus ou moins 3 600 l d'éthanol.

### L'utilisation de l'éthanol

Bien que l'éthanol puisse être utilisé à l'état pur comme carburant substitut à l'essence dérivée du pétrole, il est généralement utilisé en mélange à des niveaux de concentration variables. Les mélanges d'éthanol et d'essence sont identifiés par l'abréviation « Exx », où « xx » indique le pourcentage d'éthanol inclus dans le mélange. Un carburant E20 contient donc 20 % d'éthanol et 80 % d'essence alors qu'un carburant E100 correspond à de l'éthanol pur. Plusieurs types de mélange sont commercialisés dont les plus fréquents sont le E5, le E10, le E85 et le E100.

### *L'éthanol dans les véhicules à essence*

La plupart des véhicules à essence peuvent fonctionner avec un mélange contenant jusqu'à 10 % d'éthanol (E10). Ce type de mélange n'est disponible qu'à certaines stations-service à

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

travers le Canada, dont notamment celles de la compagnie SONIC, qui commercialise un mélange E5, et certaines stations de la compagnie Pétro-Canada, qui commercialise un mélange E10. En Saskatchewan, la vente d'éthanol est déjà pratique courante. En effet, depuis le 15 janvier 2007, la législation de la province exige que tout distributeur de carburant mélange en moyenne 7,5 % d'éthanol à l'essence qu'il vend.

Certains moteurs, conçus pour être plus résistants à la corrosion de l'éthanol, peuvent également être alimentés avec un carburant contenant 85 % d'éthanol et 15 % d'essence (E85). Cette proportion d'essence est nécessaire pour le démarrage par temps froid, l'éthanol pur s'enflammant difficilement. Toutefois, étant donné la faible disponibilité de ce carburant, son utilisation est restreinte à des corporations possédant leur flotte de véhicules et leur propre équipement de distribution et de ravitaillement tel que le Service correctionnel du Canada dans les provinces de l'Ouest canadien. Ce carburant ne peut alimenter les moteurs à essence conventionnels.

### *Performance comparée*

Comparé à l'essence, l'éthanol contient près de 40 % moins d'énergie sur une base pondérale, mais affiche une masse volumique supérieure de 7 % (cf. Tableau 2). Utilisé dans un système d'injection volumétrique, l'éthanol générera donc moins de puissance qu'une essence, cette diminution étant proportionnelle au contenu en éthanol du carburant. Toutefois, l'incorporation de 10 % d'éthanol dans l'essence ne réduit que de 3 % la puissance du moteur et favorise une meilleure combustion d'un même ordre de grandeur.

Par ailleurs, l'éthanol présente un indice d'octane très élevé, ce qui constitue un avantage pour un moteur à essence. Un fort indice d'octane indique une résistance élevée à la détonation provoquée par un allumage prématuré, ce qui assure une haute performance du moteur, notamment sur le plan de la puissance développée. L'éthanol joue à ce titre le rôle des dérivés du plomb autrefois présents dans l'essence.

**Tableau 2. Comparaison de certaines caractéristiques de l'éthanol pur (E100) avec une essence sans plomb**

Propriétés	Éthanol (E100)	Essence
Énergie disponible (MJ/kg)	26,7	43,5
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	0,792	0,738
Indice octane	113	87 à 94 (selon grade)

Source : Patzek, 2006

### L'éthanol ailleurs dans le monde

#### *Brésil*

Le Brésil, qui a cédé son titre de premier producteur mondial aux États-Unis en 2005, fabrique l'éthanol à partir de la canne à sucre (3,3 millions d'hectares, 17 milliards de

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

litres)<sup>1</sup>. C'est l'importante productivité de cette culture, combinée à des coûts de main-d'œuvre très faibles, qui lui permet d'avoir le plus faible coût de production à l'échelle mondiale. La production d'éthanol au Brésil remonte à plus de 30 ans, le marché y est donc bien développé. En 2006, 75 % des voitures brésiliennes étaient « flex-fuel », c'est-à-dire qu'elles pouvaient fonctionner indifféremment avec de l'essence, de l'éthanol ou un mélange des deux.

### États-Unis

Aux États-Unis, l'éthanol connaît un développement très rapide depuis le début des années 2000, sous l'impulsion d'imposantes mesures gouvernementales. Ainsi, au début de 2008, 142 usines étaient en opération avec une capacité de production de plus de 30,5 milliards de litres d'éthanol par année<sup>2</sup>, ce qui correspond à près de 6 % de la demande intérieure totale d'essence des États-Unis (530 milliards de litres)<sup>3</sup>. La presque totalité (97 %) de l'éthanol produit provient du maïs-grain. La plupart des usines sont donc localisées dans les États producteurs de maïs, soit les États du centre : Dakota du Sud, Nebraska, Kansas, Minnesota, Iowa, Wisconsin et Illinois. À ce nombre s'ajoute près d'une soixantaine d'usines en construction<sup>4</sup>. Pour fournir l'ensemble de ces usines, près de 40 % de la production américaine de maïs devra être consacrée à l'éthanol.

L'importante croissance de la production d'éthanol aux États-Unis s'explique par les diverses mesures incitatives mises en place par le gouvernement américain. Dans l'objectif d'augmenter la production d'éthanol à 132 milliards de litres d'ici 2017, le gouvernement américain a élaboré plusieurs politiques nationales de subvention. Les deux principales sont :

- la « Volumetric Ethanol Excise Tax Credit » : remboursement de la taxe d'accise de 13,5 ¢ US pour chaque litre de mélange carburant-éthanol;
- la « Small Ethanol Producer Tax Credit » : crédit de taxes de 2,6 ¢ US/l aux petits producteurs d'éthanol.

Selon les prévisions de l'*Energy Information Administration*, la consommation d'essence aux États-Unis devrait croître de 34 % entre 2007 et 2030 et l'éthanol devrait combler 7,6 % de cette demande.

### La production d'éthanol au Québec et au Canada

À l'heure actuelle, quinze usines d'éthanol sont en opération au Canada. Ces dernières ont une production avoisinant les 1,6 milliard de litres par année. Parmi ces usines, sept sont situées dans les prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba) et sont alimentées à partir de blé et sept autres sont situées dans le sud de l'Ontario (secteur du lac Huron et du lac Érié) et utilisent le maïs comme matière première. La quinzième usine, située à Varennes au Québec, produit également l'éthanol à partir du maïs. Exploitée par GreenField Ethanol

---

<sup>1</sup> Nouahlat, L. *Le tour du monde des agrocarburants. Brésil, États-Unis, Europe, Asie : mais qu'est-ce qui fait chalouper les biocarburants. Réponse dans ce petit tour du monde.* Terra Economica. Mai 2007. [www.terra-economica.info/Le-tour-du-monde-des](http://www.terra-economica.info/Le-tour-du-monde-des) . 3268.

<sup>2</sup> Renewable Fuels Association. *Ethanol biorefinery locations, U.S. fuel ethanol industry biorefineries and production capacity.* 18 février 2008. [www.ethanolrfa.org/industry/locations/](http://www.ethanolrfa.org/industry/locations/) .

<sup>3</sup> Sirois, J.-P. *Le point sur le développement de l'éthanol.* BioClips. Volume 10. Numéro 3. Septembre 2007.

<sup>4</sup> Renewable Fuels Association. *Ethanol biorefinery locations, U.S. fuel ethanol industry biorefineries and production capacity.* 18 février 2008. [www.ethanolrfa.org/industry/locations/](http://www.ethanolrfa.org/industry/locations/) .

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

depuis décembre 2006 (autrefois les Alcools de commerce), elle affiche une capacité annuelle de 120 millions de litres d'éthanol. Greenfield Ethanol est le plus important producteur d'éthanol au Canada. Actuellement, l'entreprise possède trois usines en fonction (deux en Ontario et une au Québec) et deux autres en construction (Ontario). Son carburant est offert dans plus de 1 500 stations-service à travers le Canada<sup>5</sup>.

La capacité de production de l'usine de Varennes représente près de 30 % du marché potentiel du bioéthanol au Québec, si l'on considère l'objectif fédéral d'incorporation de 5 % de bioéthanol dans l'essence d'ici 2010 (420 millions de litres, soit 5 % des 8,4 milliards de litres d'essence consommés chaque année). La production des 120 millions de litres d'éthanol de l'usine de Varennes nécessitera l'utilisation de 300 000 tonnes de maïs, ce qui correspond à une superficie de près de 35 000 ha de maïs, soit un peu moins de 10 % des superficies québécoises ensemencées en maïs (450 000 ha en 2007)<sup>6</sup>. Par comparaison, si toutes les superficies cultivées en maïs au Québec étaient destinées à la production d'éthanol, seuls 20 % des besoins québécois totaux en essence seraient comblés.

### ***Les incitatifs gouvernementaux canadiens***

Au Canada, diverses mesures incitatives ont été mises en place afin de soutenir le développement de l'industrie du bioéthanol. D'abord, la portion en éthanol dans les mélanges éthanol-carburant était exemptée de la taxe d'accise fédérale de 10 ¢/l, une exonération qui a toutefois pris fin le 1<sup>er</sup> avril 2008 avec la mise en œuvre de la Stratégie écoÉNERGIE. Dans le but de faire passer le pourcentage moyen d'éthanol dans le carburant à 5 % d'ici 2010, le gouvernement fédéral a conçu cette stratégie dont les principales modalités sont :

- Initiative écoÉNERGIE : budget de 1,5 milliard de dollars sur neuf ans pour les producteurs de carburants renouvelables. Cette mesure se traduit notamment par un incitatif à la production pouvant atteindre 10 ¢/l pour les trois premières années et qui diminuera progressivement jusqu'à 4 ¢/l par la suite. Le niveau de l'incitatif dépend de la rentabilité des opérations des usines de production;
- Initiative écoAGRICOLE : 200 millions de dollars destinés aux producteurs agricoles pour la construction ou l'agrandissement d'installations destinées à la production de biocarburants pour le transport à partir de matières agricoles;
- Carburants renouvelables de prochaine génération : 500 millions de dollars pour investir avec le secteur privé dans l'établissement de grandes installations de production de carburants renouvelables de deuxième génération.

### ***Les incitatifs gouvernementaux québécois***

En mai 2006, le gouvernement du Québec a mis en place une stratégie énergétique visant à permettre que d'ici 2012, tout carburant vendu au Québec possède un minimum de 5 % d'éthanol. Afin d'atteindre cet objectif, des crédits d'impôt temporaires sont accordés aux usines de production d'éthanol. Ces crédits ne sont émis que lorsque le baril de pétrole atteint

<sup>5</sup> Le Bulletin des agriculteurs. *Ethanol GreenField inaugure la première usine d'éthanol au Québec*. Varennes. 20 juin 2007. [www.lebulletin.com/informations/actualite/article.jsp?content=20070622\\_172307\\_4972](http://www.lebulletin.com/informations/actualite/article.jsp?content=20070622_172307_4972).

<sup>6</sup> Institut de la statistique du Québec. *Tableau M.1.1, Superficie des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative*. Québec. 2007.

[www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm\\_finnc/filr\\_bioal/culture/culture/am110007.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/am110007.htm).

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

un prix mensuel moyen inférieur à 65 \$ US, un prix qui rend alors l'éthanol non compétitif. Ainsi, depuis l'ouverture de l'usine de GreenField Ethanol à Varennes, l'entreprise n'a pas été éligible à ce crédit d'impôt. Dans sa stratégie énergétique, le gouvernement du Québec a indiqué son intention de privilégier la production locale d'éthanol cellulosique à partir de la biomasse forestière et agricole et des déchets urbains plutôt qu'à partir de maïs. Ce choix se justifie par le fait que la production d'éthanol cellulosique serait plus bénéfique sur le plan environnemental pour le Québec.

### ***La rentabilité de la production d'éthanol : tributaire du prix des intrants ... et du soutien gouvernemental***

La rentabilité d'une usine d'éthanol utilisant du maïs est principalement fonction du coût de la matière première, qui représente environ 75 % du coût de production. Elle est également fonction du prix de vente de l'éthanol, lui-même directement lié au prix des sources d'énergie, et des prix de vente des coproduits (principalement les drèches). La période 2002-2005 a été propice au développement de la filière de l'éthanol-maïs parce qu'elle a été caractérisée par une augmentation rapide des prix des combustibles combinée à des prix du maïs très faibles. Le département de l'énergie américain rapporte qu'à un prix du maïs de 2 \$/boisseau (80 \$/tonne métrique), le coût de production de l'éthanol se situait entre 1,00 et 1,06 \$/gallon (0,26 à 0,28 \$/l)<sup>7</sup> pour une usine américaine de taille moyenne en 2002, en excluant les coûts en capital. Avec l'augmentation de la demande en maïs pour la production d'éthanol, les prix du maïs ont toutefois fortement augmenté depuis 2006 et sont dorénavant directement influencés par le marché de l'énergie. L'augmentation du prix du maïs à plus de 5 \$/boisseau (200 \$/t) a donc mis à rude épreuve la rentabilité de la production d'éthanol. Sur la période 2003 à 2006, le prix de gros américain de l'éthanol avant subvention s'est révélé presque systématiquement supérieur à celui de l'essence<sup>8</sup>. En 2006, la subvention s'est avérée insuffisante pour assurer la compétitivité de l'éthanol par rapport à l'essence. Ainsi, même avec un prix du pétrole atteignant 100 \$/baril, la rentabilité de la production d'éthanol à partir de maïs n'est pas garantie en l'absence de subvention avec des prix du maïs aussi élevés. Selon le département américain de l'énergie, son coût demeure néanmoins inférieur à celui de l'éthanol cellulosique.

### La production de maïs destiné au marché de l'éthanol

La production de maïs-grain pour la production d'éthanol ne diffère pas de celle du maïs destiné à l'alimentation animale. Les pratiques culturales du maïs éthanol sont donc en tout point semblables à celles du maïs conventionnel. Bien que des semences hybrides comportant des qualités « éthanol » soient disponibles sur le marché, l'élément le plus déterminant dans le choix d'un cultivar demeure encore le rendement. C'est ce qui explique qu'à l'heure actuelle, les cultivars utilisés sont les mêmes que pour le marché de l'alimentation animale. Pour l'usine de Varennes, le maïs livré doit au minimum rencontrer les critères de qualité du maïs numéro trois<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Energy Information Administration. *Biofuels in the U.S. Transportation sector*. Février 2007. [www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html).

<sup>8</sup> Energy Information Administration. *Biofuels in the U.S. Transportation sector*. Février 2007. [www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html).

<sup>9</sup> Thérien, Y. *Du maïs pour l'éthanol*. Le Bulletin des agriculteurs. Décembre 2006. [www.lebulletin.com/abonnement2/0611/0611g.cfm](http://www.lebulletin.com/abonnement2/0611/0611g.cfm). Consulté le 15/02/2008.

Pour l'instant, l'utilisation d'hybrides « éthanol » compliquerait et augmenterait les frais d'entreposage, puisque ces derniers doivent être manipulés séparément des maïs conventionnels. Or, l'avantage procuré par ces variétés spécifiques n'est pas encore suffisant pour en compenser les désavantages. Toutefois, des sommes importantes sont investies en activités de recherche et développement pour développer des variétés spécifiques pour la production d'éthanol (variétés sécrétant une enzyme qui accélère la fermentation des grains ou capable de s'autodégrader entièrement lorsqu'elle est chauffée). Ainsi, la production de maïs pour la production d'éthanol est appelée à devenir une culture distincte de la production de maïs pour l'alimentation animale.

### ***La mise en marché***

Au Québec, l'approvisionnement en maïs à l'usine de Varennes est assuré en majorité par « Pro-éthanol », une entreprise composée d'agriculteurs, qui est partenaire minoritaire de l'usine. Pour devenir membres, les producteurs doivent d'abord acheter des actions qui se vendent au coût d'environ 3 000 \$ l'unité. Une action garantit le droit de livrer 254 tonnes de maïs par année. L'approvisionnement de l'usine prévoit différentes périodes de livraison réparties sur toute l'année. Les dates de livraison des différents producteurs sont déterminées selon une grille prédéfinie pour chaque année de récolte afin que les producteurs puissent tour à tour livrer leur récolte à une date avantageuse, c'est-à-dire rapprochée de la période de la récolte. La date de livraison est un facteur important, puisque les producteurs sont responsables de l'entreposage de leur récolte et qu'ils ne sont payés qu'au moment de la livraison. Lorsque leur date de livraison est éloignée, ils doivent donc assumer des frais d'entreposage et des frais d'intérêt élevés.

Le prix du maïs est déterminé en fonction de la qualité du grain et selon une grille de prix faisant intervenir la valeur de remplacement du maïs-grain de l'Ontario, le prix du maïs dans les centres régionaux et le prix des contrats à terme à la Bourse de Chicago. Il n'est donc pas directement lié au cours des prix de l'énergie. Dans l'éventualité d'une diminution importante des prix, le maïs destiné à la production d'éthanol bénéficie d'une couverture d'ASRA au même titre que le maïs destiné à l'alimentation animale.

### ***La rentabilité de la production, les avantages et les inconvénients***

La production de maïs pour la fabrication d'éthanol peut s'avérer une opportunité intéressante pour les producteurs de grandes cultures. L'obtention de la valeur de remplacement permet d'obtenir un prix généralement supérieur au prix régional. Lorsque le maïs est livré en début de saison, l'opportunité s'avère doublement intéressante puisque les frais d'entreposage sont minimisés.

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

L'élément le plus intéressant pour les producteurs de maïs destiné à la fabrication d'éthanol est que l'achat d'actions de Pro-Éthanol garantit un débouché pour la récolte contrairement au maïs pour la production animale où aucun débouché n'est garanti. De plus, la culture de maïs pour l'éthanol ne nécessite aucun investissement supplémentaire en machinerie pour les producteurs de maïs-grain.

Par contre, le producteur n'a pas de latitude relativement aux dates de livraison de sa récolte puisqu'il est soumis à un calendrier de livraison. Il doit donc adapter l'entreposage de sa récolte d'une année à l'autre et assumer les frais d'intérêts en attendant d'être payé au moment de la livraison.

### Une filière aux multiples enjeux

Au Canada, le développement de la filière éthanol est soutenu par des objectifs environnementaux et par la volonté de diversifier le marché des produits agricoles. Le bilan énergétique de l'éthanol demeure toutefois très controversé et est loin de faire l'unanimité. Le bilan énergétique établit le rapport entre l'énergie contenue dans le biocarburant et l'énergie fossile utilisée pour sa production. Si certaines études indiquent que ce bilan est généralement positif, affirmant que le contenu en énergie de l'éthanol est supérieur à l'énergie fossile utilisée dans sa fabrication, certaines autres indiquent le contraire. Par exemple, l'ADEME (2002) a estimé que l'éthanol produit à partir du blé contiendrait une quantité d'énergie deux fois plus grande que la quantité d'énergie fossile requise pour sa production. Pour leur part, Pimentel et Patzek (2005) ont estimé que la transformation du maïs en éthanol nécessiterait une consommation d'énergie fossile de 29 % supérieure à l'énergie contenue dans l'éthanol.

Le même débat fait rage concernant le bilan de l'éthanol en matière d'émissions de gaz à effet de serre. D'après les estimations réalisées par l'ADEME en 2002, la combustion de l'éthanol pur engendrerait une réduction de 60 % des gaz à effet de serre (GES) par rapport à l'essence. Selon Ressources naturelles Canada (2007) toutefois, pour un mélange E10, la réduction des émissions de GES pour l'éthanol produit à partir de céréales serait plutôt de l'ordre de 3 à 4 % par rapport à de l'essence. La réduction des émissions de GES serait favorisée par l'oxygène contenu dans l'éthanol (35 % sur une base massique) qui assurerait une combustion plus complète du mélange. De la même manière, l'analyse des contaminants atmosphériques émis par la combustion de l'éthanol indiquerait que certains composés tels que le benzène et le butadiène, qui contribuent à l'effet de serre, sont émis en moins grande quantité. Cependant, des composés organiques volatils précurseurs d'ozone seraient émis en plus grande quantité. Si le débat se poursuit à l'intérieur de la communauté des chercheurs, il n'en demeure pas moins que le bénéfice environnemental de la production d'éthanol découlant du modèle de développement actuel est beaucoup plus mitigé que ce qui avait été anticipé au départ.

Un second enjeu environnemental de taille est soulevé par la production d'éthanol à partir de céréales et de maïs. L'engouement pour la culture de maïs et dans une moindre mesure du blé, augmente les risques environnementaux liés à la dégradation des sols découlant de la monoculture intensive et de l'utilisation à grande échelle d'herbicides, d'insecticides et d'engrais minéraux ainsi qu'à la contamination des cours d'eau qui peut en résulter.

## La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales

Ce nouveau débouché pour des cultures par ailleurs destinées à des fins alimentaires soulève également un enjeu social fondamental relativement à la concurrence entre demande alimentaire et demande énergétique. Alors qu'une partie importante du monde se trouve en situation de sous-alimentation, comment justifier une utilisation des terres pour produire de l'énergie destinée aux mieux nantis?

Au Québec, les impacts environnementaux éventuels ainsi que les bilans énergétique et de GES mitigés ont donc amené le gouvernement à renoncer pour l'instant à un développement plus important de la filière éthanol à base de maïs.

Sur le plan économique, l'implantation d'usines de production d'éthanol, notamment en Amérique du Nord, a créé une demande supplémentaire et donc un nouveau débouché pour le maïs-grain. Les producteurs ont aujourd'hui une nouvelle alternative pour la mise en marché de leur maïs. La forte demande de maïs pour la production d'éthanol a pour conséquence de pousser les prix des céréales (maïs et blé) et des oléagineux (soya et canola) à la hausse puisque le prix élevé du maïs incite les producteurs à produire cette culture au détriment des autres céréales (soya, blé, etc.). La diminution de la production des autres céréales crée ainsi un effet de rareté qui entraîne à son tour le prix de ces céréales à la hausse. Cet effet est de plus accentué par la forte croissance de la demande pour les autres céréales résultant de leur substitution au maïs dans divers produits. Enfin, l'augmentation du prix des denrées agricoles a également un impact sur le prix des terres puisque les anticipations de revenu des producteurs sont à la hausse.

L'effet entraîné par l'éthanol sur le prix des grains et oléagineux, s'il se traduit positivement pour les producteurs de grandes cultures, ne produit pas le même effet chez les éleveurs. Ces derniers, qui dépendent du maïs et des autres céréales pour alimenter leur bétail, voient leurs coûts de production augmenter sans nécessairement pouvoir récupérer cette augmentation sous la forme de prix à la production plus élevés, du moins pour le moment. Bien qu'une quantité importante de drèches de distillation soit rendue disponible à des prix qui tendent à diminuer en raison des quantités importantes qui sont produites, le coût de l'alimentation animale augmente puisque l'impact se fait ressentir sur le prix de l'ensemble des grains. De plus, les valeurs énergétiques des drèches et des tourteaux sont insuffisantes à elles seules pour assurer une ration alimentaire complète.

À terme, l'augmentation du prix des grains risque également de faire augmenter les prix à la consommation des denrées alimentaires fabriquées à base de céréales et bien entendu, ceux des viandes. Ainsi, selon les perspectives agricoles de l'OCDE<sup>10</sup> et de la FAO<sup>11</sup>, le coût des aliments pour animaux ainsi que le prix de plusieurs produits carnés devraient augmenter de manière importante sur la période 2007-2016. La demande de produits agricoles de base pour la production de biocarburants constitue donc un changement majeur par rapport à la situation qui prévalait sur ces marchés antérieurement.

<sup>10</sup> [www.oecd.org/dataoecd/7/44/38896704.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/7/44/38896704.pdf) .

<sup>11</sup> [www.fao.org/newsroom/fr/news/2007/1000543/index.html](http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2007/1000543/index.html) .

### Références

- ADEME – DIREM. 2002. *Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France*. Note de synthèse. Site : [www.ademe.fr/partenaires/agric/ publications/documents\\_francais/synthese\\_bilans\\_energetiques\\_fr.pdf](http://www.ademe.fr/partenaires/agric/ publications/documents_francais/synthese_bilans_energetiques_fr.pdf) .
- Baba-Khelil, A. 2007. *Grains et biocarburants : vers quel horizon?* *Grandes cultures*, 17(2): 2.
- Brouillard, G. 2008. Communication personnelle. Février.
- Energy Information Administration. 2007. *Biofuels in the U.S. Transportation sector*. Février. [www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html) .
- Gouvernement du Canada. *Initiative pour un investissement écoagricole dans les biocarburants (IIEB)*. [www.ecoaction.gc.ca/ecoagriculture/biofuels-biocarburants-fra.cfm](http://www.ecoaction.gc.ca/ecoagriculture/biofuels-biocarburants-fra.cfm) .
- Gouvernement du Canada. *Écoénergie. La stratégie concernant les carburants renouvelables*. [www.ecoaction.gc.ca/ecoenergy-ecoenergie/renewablefuels-carburantsrenouvelables-fra.cfm](http://www.ecoaction.gc.ca/ecoenergy-ecoenergie/renewablefuels-carburantsrenouvelables-fra.cfm) .
- Jacobson, M.Z. 2007. *Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States*. *Environmental Science and Technology* (sous presse).
- Larrivière, T. 2005. *L'usine d'éthanol verra finalement le jour*. *LaTerre.ca*. 2 juin. [www.laterre.ca/index.php?action=detailNouvelle&menu=9&section=editionCourante&idArticle=2567](http://www.laterre.ca/index.php?action=detailNouvelle&menu=9&section=editionCourante&idArticle=2567) .
- Mussell, A., A. Oginsky et K. Stiefelmeyer. 2007. *Status and competitive impacts of ethanol development on canadian livestock industries*. George Morris Centre. Guelph, Ontario. 28 p.
- Noualhat, L. 2007. *Le tour du monde des agrocarburants. Brésil, États-Unis, Europe, Asie : mais qu'est-ce qui fait chaloquer les biocarburants. Réponse dans ce petit tour du monde*. *Terra Economica*. Mai. [www.terra-economica.info/Le-tour-du-monde-des.3268](http://www.terra-economica.info/Le-tour-du-monde-des.3268) .
- Patzek, T. 2006. *Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle*. <http://petroleum.berkeley.edu/papers/patzek/CRPS416-Patzek-Web.pdf> .
- Pimentel, D. et T. Patzek. 2005. *Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower*. *Natural Resources Research* 14(1): 65-76.
- Revenu Québec. *Crédit d'impôt pour la production d'éthanol*. [www.revenu.gouv.qc.ca/fr/entreprise/impot/credits/ressources/ethanol.asp](http://www.revenu.gouv.qc.ca/fr/entreprise/impot/credits/ressources/ethanol.asp) .
- Sirois, J.-P. 2007. *Le point sur le développement de l'éthanol*. *BioClips*. Volume 10, numéro 3. 8 p.
- Thérien, Y. 2006. *Du maïs pour l'éthanol*. *Le Bulletin des agriculteurs*. [www.lebulletin.com/abonnement2/0611/0611g.cfm](http://www.lebulletin.com/abonnement2/0611/0611g.cfm) (consulté le 15/02/2008).