

F12 Éthanol de cellulose

DESCRIPTION SOMMAIRE

• Intrants

Des plantes entières, notamment celles présentant de forts rendements à l'hectare et un contenu élevé en cellulose. Les résidus de cultures et des résidus forestiers peuvent aussi servir d'intrants « bon marché » pour ce procédé.

• Processus

Les étapes de production d'éthanol à partir de lignocellulose sont les suivantes :

- **Prétraitement de la matière première** : la biomasse doit être broyée le plus finement possible pour permettre aux enzymes d'accéder facilement à la cellulose.
- **Hydrolyse à l'acide** : les hémicelluloses qui ne sont pas hydrolysables sont séparées du milieu. Les éléments non hydrolysables ne sont pas solubles et sont difficilement accessibles pour les étapes subséquentes de déconstruction biologique.
- **Hydrolyse enzymatique** : les substances hydrolysables sont séparées à l'aide d'enzymes. La lignine est séparée du mélange.
- **Fermentation des sucres en utilisant des levures, des bactéries** : une fois la lignine séparée, les produits restants sont exposés à la fermentation.
- **Purification et distillation du mélange alcool-eau** : cette opération est requise pour séparer les vinasses de l'alcool et pour générer un mélange contenant entre 94 et 96 % d'éthanol.
- **Déshydratation de l'alcool** : des techniques diverses d'élimination de l'eau contenue dans l'alcool sont utilisées pour produire un alcool de qualité carburant.
- Finalement, **des dénaturants comme l'essence et des agents anticorrosifs sont ajoutés** pour exclure la vente sur le marché alimentaire. Ceci donne un mélange contenant entre 94 et 98 % d'éthanol pur.

• Produits et utilisations

L'éthanol dénaturé est un carburant qui peut être mélangé avec de l'essence ou utilisé seul dans des moteurs à essence. Au-delà d'un mélange de 10 % d'éthanol avec 90 % d'essence (E10), des modifications aux moteurs sont nécessaires.

La fabrication d'éthanol génère deux sous-produits, soit de la lignine et du dioxyde de carbone (CO₂) produit lors de la fermentation. Le volume de lignine obtenu dépend de la matière première utilisée. Il est généralement abondant lorsque l'éthanol est produit à partir de résidus forestier et moins abondant dans le cas des cultures énergétiques. Le dioxyde de carbone peut être commercialisé pour la fabrication de boissons gazeuses et de glace sèche ou dans les processus de refroidissement rapide des aliments.

Dans l'état actuel de la technologie, une tonne (base matière sèche) de biomasse donnera entre 110 et 300 litres d'éthanol. On estime toutefois que l'optimisation des procédés de conversion de la cellulose et de l'hémicellulose et du procédé de fermentation pourrait porter ce rendement à 400 litres/tms. À titre d'illustration, un hectare de panic érigé cultivé au Québec (rendement entre 7 et 13 tms/ha), pourrait procurer entre 1300 à 3900 l d'éthanol (en supposant un rendement en éthanol de 200 à 300 l/tms).

MATURITÉ

- **Historique**

À l'heure actuelle, aucune unité de fabrication d'éthanol à base de cellulose n'existe au Québec. Logen, une compagnie canadienne fondée en 1970 et située à Ottawa, a été l'une des premières au monde à produire de l'éthanol à l'échelle de pilote commercial. Elle exploite, depuis 2004, une usine produisant 2 millions litres d'éthanol par année à partir de pailles de blé, d'orge et d'avoine.

- **Stade de développement**

Plusieurs technologies sont désormais au stade pilote et de nombreuses autres unités atteindront ce stade d'ici deux à trois ans, mais aucune usine n'opère actuellement à l'échelle commerciale. Cette piste de production biologique est en compétition avec la voie de production thermochimique (« biomass-to-liquid ») et, pour l'instant, aucune d'entre elles ne se démarque comme étant nettement supérieure à l'autre. L'évaluation des pilotes devrait permettre de mieux cerner l'efficacité et l'applicabilité des différentes technologies.

- **Horizon temporel de maturité**

Des unités commerciales sont prévues pour l'horizon 2015 à 2020, les toutes premières possiblement d'ici 2010. Des communiqués de presse de quelques compagnies, notamment Range Fuels (Géorgie, 38 MI/an en 2010), annoncent le début de la construction d'unités qui seront fonctionnelles dans les prochaines années. Abengoa (Kansas; 42 MI/an, 2010), Poet (Iowa; 95 MI/an, 2011), Bluefire Ethanol (Californie; 72 MI/an, 2010) et Mascoma Corporation (Michigan; 151 MI/an, 2011) se livrent également une rude compétition pour être bons premiers aux États-Unis. En Chine, la China Resources Alcohol Corporation affirme qu'elle produira 1,24 milliards de litres par an d'ici 2012.

ENJEUX TECHNOLOGIQUES

L'approvisionnement en matières premières constitue un enjeu de taille au plan logistique. La stabilité et les volumes d'approvisionnement ont un impact majeur sur la rentabilité et sur le bilan environnemental de la production d'éthanol. À titre d'exemple, une unité de 5 MI/an ayant un rendement de 200 litres par tonne nécessitera 25 000 tonnes de biomasse par année. Une unité commerciale de 50 MI/an nécessitera donc environ 250 000 tonnes.

L'enjeu le plus important se situe toutefois du côté de l'amélioration des processus. À ce titre, plusieurs pistes sont poursuivies afin de réduire les coûts, réduire le temps de traitement et maximiser le rendement en éthanol par tonne d'intrant. En amont, on mise sur le choix d'espèces et de variétés de plantes riches en cellulose, ayant un rendement élevé en biomasse par hectare, et la modification génétique des plantes pour en faciliter l'hydrolyse. À l'usine, le fractionnement de la cellulose, de l'hemicellulose et de la lignine, l'hydrolyse et la fermentation sont à optimiser, soit par piste biotechnologique (sélection et amélioration des enzymes, bactéries, levures et champignons qui sont à la base des procédés) ou par amélioration de la conception des procédés (températures, pressions, chimiques, efficacité énergétique, traitement séquentiel ou simultané, etc.).

MARCHÉS POTENTIELS

Le marché de l'éthanol comme substitut à l'essence a été créé essentiellement sous l'impulsion des incitatifs réglementaires et financiers gouvernementaux visant la lutte aux changements climatiques, et demeure dépendant de ceux-ci. Au Canada les carburants de transport devront avoir une teneur moyenne de 5 % de carburants renouvelables d'ici 2012, ce qui représente un volume d'environ 420 millions de litres d'éthanol pour le Québec. Actuellement une partie de l'éthanol commercialisé au Québec est importé de l'étranger.

Le marché principal de l'éthanol de cellulose est celui des carburants de transport en remplacement partiel de l'essence (jusqu'à 10 % d'éthanol) ou en remplacement du MTBE, un additif à l'essence qui améliore sa combustion. Ce marché inclut tous les véhicules et flottes fonctionnant à l'essence. La distribution se fait par les voies déjà établies, soit les réseaux des grandes pétrolières.

Au Brésil et dans le sud des États-Unis, des véhicules flex-fuel fonctionnant avec un mélange éthanol-essence peuvent utiliser un carburant contenant jusqu'à 85 % d'éthanol. Le petit nombre de stations services offrant ce type de carburant limite toutefois le développement de ce marché. L'éthanol pur (E100) peut aussi être utilisé dans des flottes captives, les moteurs devant être adaptés.

COÛTS

Étant une technologie au stade de la démonstration, les coûts de production et d'investissement ne peuvent être estimés avec une grande précision. Les investissements rapportés pour les différents projets relèvent de budgets qui incluent des postes de RD; ils sont donc plus élevés que ce qu'on pourrait prévoir pour une unité commerciale. Ces investissements, dans le cas des projets financés par le département de l'Énergie des États-Unis, varient entre 9,30 \$US/litre de capacité (projet de Lignol Innovations de 2,5 M de gallons US) et 16,09 \$US/litre de capacité (projet de Verenium de 1,5 M gallons US).

Comparaison de certains éléments de coût de production de l'éthanol à partir de matière cellulosique et de maïs

	Maïs	Cellulosique
Coût en capitaux pour construire l'usine	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
Coût des enzymes	0,01 \$ US/l	0,08 à 0,13 \$ US/l
Coût de transport	Faible	Élevé

Source : Traduit de Collins, K. USDA, US Agriculture and the Emerging Bioeconomy, 2006.

COMPÉTITIVITÉ

L'Agence internationale de l'énergie estime que le coût de production de l'éthanol par voie biochimique se situera entre 0,80 et 1,00 \$US par litre équivalent d'essence en 2010, ce qui correspond à un baril de pétrole entre 100 et 130 \$US. Pour 2030 elle prévoit un coût de production entre 0,55 et 0,65 \$US par litre équivalent d'essence. Par comparaison les nouvelles techniques concurrentes pour produire des carburants à partir de sources d'énergie fossile (pétrole lourd, BTL (gaz-à-liquide et charbon-à-liquide)) seraient actuellement compétitives si le baril de pétrole se transigeait à un prix de 65 \$US ou plus.

En termes de rendement énergétique net par hectare, l'éthanol cellulosique ne se compare pas avantageusement avec les biocombustibles (e.g. granules) ni même avec le biogaz produit à partir de matières lignocellulosiques comme le panic érigé. Alors qu'une granule contient généralement 14 fois plus d'énergie que l'énergie fossile nécessaire à sa production, l'éthanol de panic érigé contient généralement 4 fois l'énergie fossile utilisée dans sa fabrication. Le WorldWatch Institute rapporte un intervalle de 2 à 36 pour le ratio d'énergie finale de l'éthanol sur l'énergie fossile consommée dans sa fabrication.

ADAPTABILITÉ AUX PETITES COMMUNAUTÉS



A priori, la production d'éthanol à partir de matières lignocellulosiques est une technologie qui ne nécessite pas une expertise poussée pour opérer une usine. Cette expertise est à la portée des ingénieurs et biochimistes déjà présents sur le territoire québécois. Tous les efforts scientifiques actuels sont consacrés à trouver des solutions technologiques permettant de réduire le coût d'investissement et d'opération de la technologie. Lorsque ces technologies seront disponibles commercialement, il sera possible de les exploiter localement.

Échelles de production d'éthanol à partir de matières cellulosiques

Type d'usine	Capacité de l'usine	Heures d'opération	Biomasse requise	Livraisons par camion	Superficie nécessaire pour produire la biomasse
	<i>l/an</i>	<i>h/an</i>	<i>tms/an</i>		<i>(% de la superficie dans un rayon donné)</i>
Petit pilote	15 000 à 25 000	2 000	40 à 60	3 à 5 / an	1 à 3 % (r = 1 km)
Démonstration	40 000 à 500 000	3 000	100 à 1 200	10 à 140 / an	5 à 10 % (r = 2 km)
Pré-commerciale	1 à 4 millions	4 000	2 000 à 10 000	25 à 100 / mois	1 à 3 % (r = 10km)
Commerciale	25 à 50 millions	5 000	60 000 à 120 000	10 à 20 / jour	5 à 10 % (r = 20 km)
Commerciale, grande	150 à 250 millions	7 000	350 000 à 600 000	100 à 200 / jour et nuit	1 à 2 % (r = 100km)

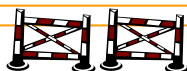
Traduit de IEA (Agence internationale de l'énergie) (2008, nov.). From 1st- to 2nd-Generation Biofuel Technologies : An overview of current industry and RD&D activities, Extended Summary.

Cette technologie, une fois passé le stade de démonstration, ne devrait être rentable qu'à grande échelle. Les régions ressources seront avantagées en raison de la plus grande disponibilité de terres et de la proximité des ressources forestières garantissant un coût d'approvisionnement moindre.

Néanmoins, la production d'éthanol est moins bien adaptée aux communautés rurales que d'autres biocarburants.

- On peut difficilement envisager de créer des circuits courts de valorisation (production de la matière première, transformation et utilisation) qui seraient compétitifs avec la production à grande échelle
- Les installations de grande taille sont favorisées afin de bénéficier d'économies d'échelle tant à l'achat de matières premières qu'au niveau de l'efficacité de production
- L'implantation de ces installations demande beaucoup de capitaux qui ne sont pas toujours à la portée des milieux ruraux

LACUNES OU BARRIÈRES



- Les orientations gouvernementales sont généralement toutes favorables au développement de cette filière, tant au plan de la réglementation que des politiques et programmes mis en place.
- La filière est en compétition avec les autres filières d'énergie renouvelable et de bioproduits pour l'approvisionnement en biomasse.
- D'autres filières utilisant les mêmes sources de biomasse ont ou auront atteint un stade de maturité commerciale avant la filière cellulosique ce qui peut compromettre son accès à la ressource.

SOUTIEN DISPONIBLE

L'industrie de l'éthanol tel qu'on la connaît aujourd'hui existe grâce aux programmes incitatifs mis en place pour accroître la capacité de production nationale en vue d'atteindre l'objectif d'une moyenne de 5 % de carburant renouvelable dans les carburants de transport d'ici 2012. Afin d'y arriver, certains programmes incitatifs ont été mis en place pour accroître la capacité de production nationale. Les deux programmes fédéraux encore en vigueur sont l'Initiative pour un investissement écoAGRICOLE dans les biocarburants (IIEB) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada et le Programme ÉcoÉNERGIE pour les biocarburants de Ressources naturelles Canada.

Cependant, étant donné le stade de développement de la technologie, le financement des initiatives d'éthanol cellulosique passent davantage par les programmes de soutien à la recherche et à la démonstration. Le Programme d'innovation en matière de bioproduits agricoles (PIBA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada vient d'annoncer le financement (19,9 M \$) du Réseau canadien sur les biocarburants cellulosiques, un consortium de chercheurs universitaires. La fondation Technologies du développement durable Canada (TDDC) offre Le Fonds de biocarburants ProGenMC, d'une valeur de 500 millions \$, pour soutenir « la création d'installations de démonstration à grande échelle, premières du genre, qui produiront les combustibles renouvelables de la génération suivante. »

AVANTAGES

- Débouché de marché additionnel pour les agriculteurs et les exploitants forestiers
- La demande en matière première peut contribuer relancer l'activité économique du secteur forestier
- Le ratio d'énergie nette (fossile) se situe entre 2 et 36
- L'éthanol s'intègre bien aux infrastructures de transport (pipelines, postes d'essence, moteurs à essence)
- L'utilisation des matières premières n'est pas en compétition avec le marché alimentaire
- Les grands volumes de matière première requis pour les usines de taille commerciale favorisent l'implantation des usines à proximité des ressources (terres et forêts), soit dans les régions ressources
- La forme liquide de l'éthanol lui confère une variété d'applications en comparaison de concurrents solides et gazeux

INCONVÉNIENTS

- La technologie n'a pas encore fait la démonstration de son efficacité technico-économique (les techniques fonctionnelles à l'heure actuelle ne sont rentables à aucune échelle de production)
- Les installations de grande taille seront favorisées afin de bénéficier d'économies d'échelle tant à l'achat de matières premières qu'au niveau de l'efficacité de production
- Production en continu nécessitant un approvisionnement constant à l'année
- Plusieurs voyages de camion par jour seront nécessaires pour approvisionner une usine, ce qui peut avoir un impact sur le voisinage et sur les infrastructures routières.
- L'implantation éventuelle de cultures énergétiques pourrait avoir pour effet réduire l'offre de l'agriculture québécoise vers le marché alimentaire. Les terres abandonnées ou en friche sont généralement visées pour éviter cet impact non souhaité. Toutefois, la mise en œuvre d'une telle planification territoriale représente un défi et suppose la mise en place d'une réglementation limitant le droit d'exploitation des propriétaires de terres agricoles
- Débouché principal auprès des grandes sociétés pétrolières
- Coûts d'investissement importants pour une usine de taille commerciale
- Le Québec compte peu d'experts pour l'exploitation d'usines d'éthanol. Néanmoins, les professionnels présents sont en mesure de se former dans les délais de réalisation d'un projet de construction.

REMARQUES/COMMENTAIRES SUR LE POTENTIEL DE LA FILIÈRE**EN RELATION AVEC LES OBJECTIFS RECHERCHÉS PAR LE GROUPE DE TRAVAIL**

Cette filière de production n'atteindra pas le stade de maturité commerciale avant près d'une décennie. La capacité des milieux ruraux de rivaliser dans l'actuel marché de RD est très faible. Cette filière ne sera vraisemblablement pas compétitive avec d'autres options de production d'énergie ou de développement rural avant plusieurs années.

Initiatives québécoises

Serge Laberge, d'AAC, est le chercheur principal pour le nouveau Réseau canadien sur les biocarburants cellulosiques.

Initiatives existantes ou en développement ailleurs

Une demi-douzaine de compagnies mène des projets de démonstration de plusieurs millions de dollars afin de prouver la rentabilité de leur approche. Ces projets ont lieu surtout aux États-Unis et en Europe. Les promoteurs soutiennent que des unités pré-commerciales seront en opération dans les deux prochaines années, les premières dès 2010.