

## EDITORIAL

### Le charbon

Comme les autres hydrocarbures fossiles, le charbon est le produit de la très lente maturation de dépôts végétaux enfouis dans des roches sédimentaires. Sous la pression des forces hydrostatiques, le pétrole et le gaz migrent de la roche mère où ils sont nés et seul quelque % est piégés dans des roches réservoirs pour donner des gisements. A la différence du pétrole et du gaz, le charbon est naturellement à l'état solide, il ne migre donc pas pour se concentrer. On va le retrouver « en place » dans le niveau sédimentaire où il a subi sa transformation initiale, sous forme de veines d'épaisseur très variable, sauf bien sûr si la couche géologique a été érodée. On comprend pourquoi le charbon est aujourd'hui plus abondant que le pétrole et pourquoi on le trouve en bassins continus d'assez grande extension correspondant à l'ensemble de la zone où les conditions de sédimentation étaient favorables à sa formation.

Les réserves prouvés + probables de charbon sont estimées à **750 Gt (640 Gtec<sup>1</sup>)**, auxquelles s'ajoutent 170 Gt (67 Gtec) de lignite, ce qui ferait au total de l'ordre de :

**900 Gt (700 Gtec)** tous charbons confondus,

soit deux fois l'équivalent énergétique des réserves aujourd'hui connues de pétrole + gaz. Les ressources charbonnières restant à prouver (notion très imprécise) atteindraient **4000 Gt**, soit 5 fois les réserves prouvées de charbon alors que le volume des hydrocarbures conventionnels restant à découvrir est plutôt inférieur à celui des hydrocarbures prouvés.

La production annuelle de charbon est aujourd'hui de 5 Gt/an et croît au rythme de + 6 %/an. Il y a donc place aujourd'hui pour un développement du charbon aussi important qu'on le souhaitera au cours des prochaines décennies. Naturellement, l'effet d'écrémage des gisements les plus rentables se fera sentir, de même que la contagion à la hausse des prix des autres énergies. La tendance sera donc nettement haussière pour le prix du charbon à long terme mais il est encore beaucoup trop tôt pour parler de « pic de la production charbonnière ». En effet, les ressources n'ont pas été réellement prospectées car c'était inutile. En revanche, on est sûr qu'elles sont très abondantes. Il est donc certain qu'elles pourront être transformées en réserves au fur et à mesure de la nécessité de leur mise en exploitation. Deux autres éléments sont encore à prendre en compte pour évaluer l'avenir du charbon :

- Le charbon du futur devra être « propre ». Or, mettre au point industriellement la CCS<sup>2</sup> prendra 20 ans et le démarrage de ce processus est aujourd'hui retardé par la vision complètement brouillée que les décideurs ont quant au prix futur du CO<sub>2</sub>. La prochaine décennie - celle au cours de laquelle le pic pétro-

---

<sup>1</sup> La tec (tonne équivalent charbon) représente une tonne de charbon à 7000 kcal/kg. 1 tec vaut 0,67 tep

<sup>2</sup> Capture et séquestration du CO<sub>2</sub>

lier deviendra une réalité - sera particulièrement agitée si le développement du charbon est bridé à un moment où le paquebot nucléaire ne sera pas encore complètement relancé.

- A horizon 2040 +, la *gazéification souterraine du charbon*<sup>3</sup> pourrait ouvrir un nouveau et vaste domaine, notamment off shore en mer du Nord et mer de Barents.

Maurice Allègre – janvier 2008

## Contenu du bulletin 5

p.1 : éditorial par M. Allègre.

p.3 : bilan énergétique de l'éthanol ex maïs par X. Chavanne.

---

<sup>3</sup> UCG - Underground Coal Gazification

# LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE DE LA PRODUCTION D'ÉTHANOL À PARTIR DE MAÏS

Par X. Chavanne.

Résumé et compléments à l'article de même titre publié dans les comptes rendus de l'académies des sciences. Géosciences 2008 - Vol. 340 - N° 5 - 263-287 (<http://www.elsevier.fr/html/index.cfm?act=sommaires&code=TE> ). L'article est disponible sur le site d'ASPO France à la rubrique *documents* (<http://aspofrance.org/texts/documents#xc>, rendement éthanol ex maïs).

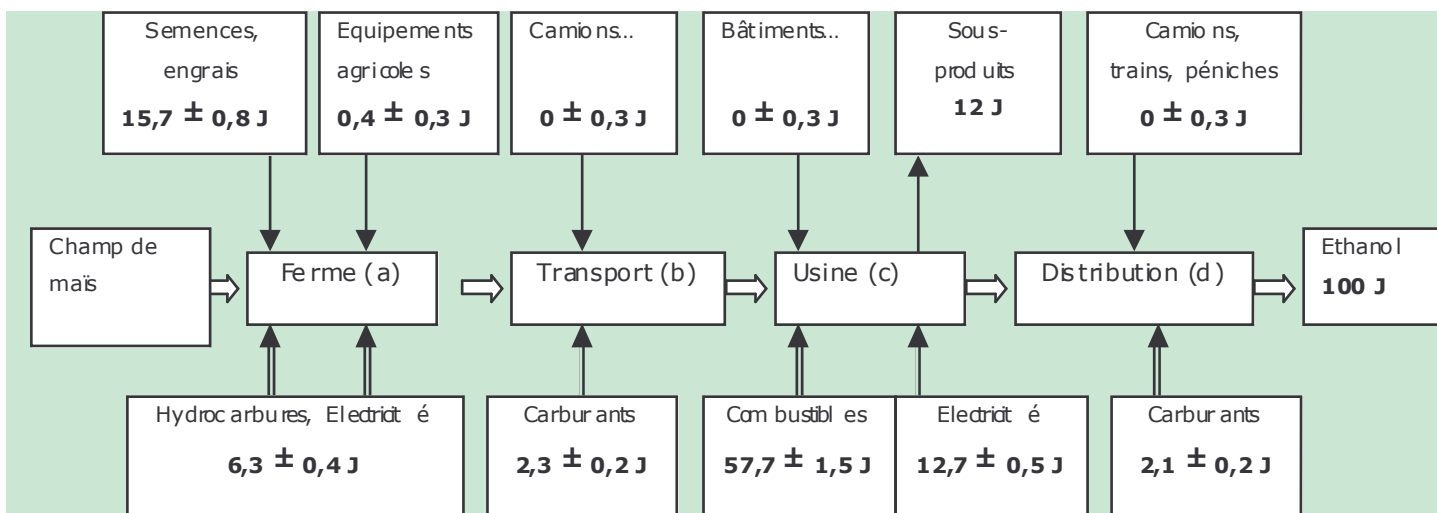


Figure 1 : schéma des différentes étapes de la chaîne de production de l'éthanol depuis le champ de maïs jusqu'à la station d'essence, et coûts énergétiques associés à chaque étape. Données moyennes en 2001 pour la ferme (hors irrigation), en 2005 pour le parc d'usines (cf. tableau 8 de l'article).

Cet article présente une première application de la méthode décrite dans un article publié à la même revue (disponible au même lien et dont un résumé a été donné au bulletin d'ASPO France n°3). La méthode s'inscrit dans le cadre très vaste de l'analyse du cycle de vie avec une étude fine des procédés composants la filière étudiée.

Un des points importants montrés par cette étude est que l'analyse énergétique représente un travail complexe en raison du grand nombre de paramètres intervenant tout au long de la filière. L'intérêt de l'outil taux de dépenses T est justement de séparer l'étude des différentes étapes et dépenses et donc de séparer les difficultés pour mieux les traiter. Une des conséquences de cette complexité est les controverses entre experts au sujet de la rentabilité de filières énergétiques, comme c'est le cas pour la filière éthanol ex-maïs. Les controverses en sciences quand elles s'accompagnent d'un approfondissement des arguments sont des exercices sains pour traiter de sujets complexes, et c'est le cas ici.

L'éthanol de maïs représente un enjeu économique et politique important aux Etats Unis d'Amérique. Sa production pour le transport a été de 9,5 Mtep en 2006, une hausse de 25% par rapport à 2005, alors que la production mondiale d'agroéthanol en 2006 a été de 23 Mtep (dont 9,0 Mtep pour le Brésil) et la produc-

tion totale d'agrocarburant de 27 Mtep. La production mondiale de pétrole dans le même temps a représenté environ 3800 Mtep.

Pour essayer de dépasser la controverse, il est nécessaire de répartir des données de base (consommation de carburants, d'électricité, de combustibles mais aussi d'engrais et de matériaux à tous les stades de la filière) rendues publiques justement par ces controverses. Cela s'accompagne de leur examen critique de manière à éliminer le maximum d'ambiguïtés (taux d'humidité, pouvoirs calorifiques des divers combustibles...), quitte à mettre en évidence les incertitudes et à indiquer les hypothèses nécessaires. Pour ces différentes raisons, l'article est long, de lecture parfois difficile, mais comme le soulignent les relecteurs/reviewers, il n'est pas possible de faire l'économie de ces détails souvent cruciaux. D'où sa publication in extenso.

Pour obtenir 100 J d'éthanol à partir de maïs dans les 9 principaux états producteurs du pays (voir aussi figure 1) ont été nécessaires :

- 23 J de dépenses en moyenne à la ferme en 2001 avec un peu moins de 4 J de carburant pour les opérations agricoles, 2,5 J de combustible pour le séchage des grains et environ 16 J sous forme d'intrants. Une année pluvieuse comme 1996 a conduit à des coûts de séchage plus élevés, 8,5 J. Le coût des intrants est dominé par celui des engrais azotés en raison du besoin énergétique fondamentalement élevé de la fabrication de l'ammoniac. Il varie d'un état à l'autre de 12 à 22 J en raison de l'influence probable de climats et de sols localement distincts et aussi de différence de pratiques agricoles. La plus grande partie des surfaces n'a pas besoin d'irrigation et son coût est donc négligeable. Cependant dans la partie aride cultivée du Nebraska le coût additionnel de pompage de l'eau d'aquifère à 25 m a représenté 29 +/- 4 J (pour 100 J d'éthanol). En comparaison le coût d'amortissement du matériel est presque négligeable, moins de 0,7 J.

- 70 J de dépenses à l'usine pour transformer le grain en éthanol (situation pour 2005 et avant). Ce coût élevé résulte des processus de concentration, distillation, séchage... Pour obtenir l'éthanol anhydre et les drèches sèches à l'issue de l'hydrolyse de l'amidon et de la fermentation du glucose. La survie et l'efficacité des microorganismes utilisés lors de ces réactions ainsi que la conservation des produits sont à ce prix. Les résidus du grain, ou drèches sèches (10% d'humidité), sont vendus comme aliment pour élevage. Le gain associé à ces drèches correspond à l'énergie économisée en les utilisant à la place d'autres aliments (ici farine de soja et grains de maïs). Il est d'environ 12 J. Certains experts ont estimé que le gain correspondait à la masse, ou le pouvoir calorique ou calorifique, des drèches. Le gain est alors bien plus élevé (env. 96 J au prorata des masses) et donc le taux de dépenses global plus faible. Mais si cette logique est poussée jusqu'au bout, il serait encore plus rentable de vendre directement les grains de maïs sans les transformer en éthanol. L'éthanol est utilisé comme une énergie, pas les produits destinés à l'alimentation. D'ailleurs certains programmes de développement d'agrocarburants ont été décidés dans le but de réduire des excédants alimentaires.

- 2,3 J pour transporter le grain jusqu'à l'usine (par camions en deux étapes avec une distance totale moyenne de 100 km) et 2,1 J pour transporter l'éthanol jusqu'à la station-service (1270 km en moyenne dont plus de 1000 en train). Un mode de transport économique, le train, et une concentration en énergie plus élevée permettent de compenser la longueur des distances.

Le total correspond à environ 86 J de dépenses en moyenne pour 2001 (hors irrigation) en tenant compte des sous produits. Par comparaison le coût de production de 100 J d'essence est de moins de 25 J. Peut-être est-il nécessaire de préciser

qu'il s'agit ici d'examiner la rentabilité d'une filière à extraire et à transformer une ressource énergétique, et non pas la disponibilité des matières premières ? Parmi les énergies primaires utilisées dans la filière 11% seulement provient de pétrole mais 60% de gaz naturel et presque 25% de charbon. De cette décomposition il peut être déduit la quantité de CO<sub>2</sub> fossile émis par l'industrie de l'éthanol par unité d'énergie. Pour un bilan complet il faudrait tenir compte de l'émission d'autres gaz à effet de serre en dehors de la combustion de combustibles fossiles (émission de N<sub>2</sub>O par les sols, fuite de CH<sub>4</sub>...).

Une extension possible de l'étude est l'examen de la disponibilité des ressources, en l'occurrence celle des terres arables pour le maïs (la hausse récente des prix du maïs et du soja doit beaucoup au développement de l'éthanol ex maïs) ainsi que celle du gaz naturel, des engrais NPK, de l'eau...Le pétrole est une ressource finie et sa production connaîtra un déclin ; mais les terres arables sont aussi d'extension limitée.

Une autre extension possible de cette étude et que permet l'outil taux de dépenses est de réaliser une analyse comparative entre toutes les filières utilisant la biomasse comme matière première pour les besoins du transport (production d'agroc carburants dit de 2<sup>e</sup> génération, mais aussi fermentation anaérobique en méthane, gazéification pour produire chaleur puis électricité, ou un carburant etc.). L'énergie d'entrée est alors le pouvoir calorifique de la biomasse et l'énergie de sortie l'énergie mécanique des roues