

BILAN 'GES' DES BIOCARBURANTS: CAS DE LA FILIÈRE ÉTHANOL-CÉRÉALES

A. Dauriat¹, E. Gnansounou²,

¹ENERS Energy Concept, Case postale 56, CH-1015 Lausanne, Suisse

²Laboratoire de Systèmes Energétiques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne, Suisse

RÉSUMÉ : Par sa proposition de Directive du 31 janvier 2007 visant à modifier la Directive 98/70/EC, la Commission Européenne s'apprête à exiger de la part des fournisseurs de biocarburants qu'ils surveillent (puis réduisent) les émissions de gaz à effet de serre (GES) et en rendent compte dans des rapports. Parallèlement, les études visant à évaluer l'impact environnemental du développement des biocarburants se multiplient (et souvent même se contredisent), et plus que jamais, le bilan écologique des biocarburants est au cœur des débats et suscite la controverse. Généralement établi au moyen d'une analyse « de cycle de vie », ce bilan écologique prend en compte l'ensemble des impacts générés « du berceau à la tombe » selon l'expression consacrée. En s'appuyant sur le cas concret de la production de bioéthanol-carburant à partir de céréales dans le contexte européen, le présent article a pour but d'évaluer l'effet des choix méthodologiques et des spécificités régionales sur le bilan des émissions de GES des biocarburants. Les variantes méthodologiques retenues dans cette étude comprennent notamment : la prise en compte ou non d'une situation de référence pour les surfaces consacrées à la culture des matières premières et le choix de la méthode d'allocation des impacts entre les co-produits. Cet article compare enfin les effets liés à la provenance des matières premières en évaluant les cas de la Suisse, de la France, de l'Allemagne, de l'Espagne et des Etats-Unis (le bioéthanol étant indifféremment utilisé en Suisse). Il ressort de l'analyse présentée ici que les choix méthodologiques ont une influence majeure sur les résultats finaux, de même que les hypothèses relatives à la provenance des matières premières ou à la pratique agricole. Il est donc essentiel, compte tenu des enjeux politiques, économiques et environnementaux actuels, d'adopter une approche la plus transparente possible, d'identifier les déterminants majeurs et de tenir compte de façon rigoureuse des spécificités locales, afin de promouvoir une production et une utilisation durables des biocarburants.

MOTS-CLÉS : biocarburants, bioéthanol, analyse de cycle de vie (ACV), écobilan, CO₂, effet de serre, GES

1 INTRODUCTION

Par sa proposition de Directive du 31 janvier 2007 visant à modifier la Directive 98/70/EC [1], la Commission Européenne s'apprête à exiger de la part des fournisseurs de biocarburants qu'ils surveillent (puis réduisent) les émissions de gaz à effet de serre (GES) et en rendent compte dans des rapports. Dans plusieurs pays, des initiatives nationales visent par ailleurs à ne promouvoir que les filières de biocarburants les plus durables, celles respectueuses de l'environnement, et qui satisfont aussi à d'autres critères tels que les exigences sociales. C'est le cas notamment du Royaume-Uni [2], de la Hollande [3] ou encore de la Suisse [4].

Parallèlement, les études visant à évaluer l'impact environnemental du développement des biocarburants [5-10] se multiplient (et souvent même se contredisent), et plus que jamais, le bilan écologique des biocarburants est au cœur des débats et suscite la controverse.

Généralement établi au moyen d'une analyse de cycle de vie, ce bilan écologique (souvent limité aux bilans d'énergie et de CO₂ dans le cas des biocarburants) prend en considération l'ensemble des impacts générés « du berceau à la tombe » selon l'expression consacrée. L'analyse de cycle de vie, quoique régie par la Norme ISO 14040, peut être appliquée de diverses manières et ainsi donner lieu, notamment dans le cas des biocarburants, à des résultats divergents pour une même filière, selon la

méthodologie adoptée. En s'appuyant sur le cas particulier de la production d'éthanol-carburant à partir de céréales dans le contexte européen et pour une utilisation en Suisse, le présent article a pour but d'évaluer (1) l'effet des choix méthodologiques et (2) celui des spécificités régionales sur le bilan GES des biocarburants.

2 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE ET VARIANTES

Dans le présent article, seules les étapes de production et de distribution des carburants sont considérées. Les utilisations différenciées des biocarburants (taux de mélange, performance du mélange, type de véhicule) sortent du contexte de cet article et ne sont pas prises en compte.

L'analyse comparative présentée ici repose sur une filière de référence définie de la manière suivante : Le bioéthanol est produit au sein d'une usine d'une capacité de 40'000 t/an (soit 134'000 t/an de céréales). Parallèlement, l'usine produit aussi environ 48'600 t/an de DDGS. L'éthanol-carburant est distribué sur une distance moyenne de 250 km (dont 100 par rail et 150 par route). La culture de céréales est réalisée selon la pratique usuelle en Suisse, avec un rendement de 6,425 t/ha de graines (matière fraîche à 15% m/m d'humidité) et 3,915 t/ha de paille. Les graines sont acheminées jusqu'à l'usine sur une distance de 50 km (dont 10 en tracteur et 40 en camion). Le cas de référence est décrit de manière détaillée au Tableau 1.

Tableau 1: Définition du cas de référence

Culture des céréales			
Grains de blé, production CH, ex-ferme			
Teneur en eau (rapport de la masse à la masse de biomasse humide)	% m/m	15.0%	
Teneur en carbone (biomasse humide)	kg/kg	0.353	
Contenu énergétique (biomasse humide)	MJ/kg	15.138	
Prix du marché moyen (biomasse humide)	CHF/kg	0.750	
Rendement (biomasse humide)	kg/ha	6425.100	
Paille de blé, production CH, ex-ferme			
Teneur en eau (rapport de la masse à la masse de biomasse humide)	% m/m	15.0%	
Teneur en carbone (biomasse humide)	kg/kg	0.367	
Contenu énergétique (biomasse humide)	MJ/kg	17.170	
Prix du marché moyen (biomasse humide)	CHF/kg	0.100	
Rendement (biomasse humide)	kg/ha	3915.300	
Production de bioéthanol			
Quantités annuelles de céréales traitées	t/an	134000	
Production annuelle de bioéthanol anhydre	t/an	39814	
Production annuelle de vinasses	t/an	297796	
Production annuelle de DDGS	t/an	48565	
Emissions annuelle de CO ₂ par fermentation	t/an	40397	
Nombre de jours de fonctionnement	jours	336	
Bioéthanol, hydraté, issu de céréales, production CH, ex-usine			
Densité, à 20°C	kg/l	0.814	
Teneur en eau (rapport de la masse à la masse totale)	% m/m	8.6%	
Teneur en carbone (matière humide)	kg/kg	0.487	
Contenu énergétique (matière humide)	MJ/kg	24.482	
Prix du marché moyen (matière humide)	CHF/kg	0.999	
Production annuelle	t/an	43453	
Bioéthanol, anhydre, issu de céréales, production CH, ex-usine			
Densité, à 20°C	kg/l	0.790	
Teneur en eau (rapport de la masse à la masse totale)	% m/m	0.3%	
Teneur en carbone (matière humide)	kg/kg	0.532	
Contenu énergétique (matière humide)	MJ/kg	26.720	
Prix du marché moyen (matière humide)	CHF/kg	1.139	
Production annuelle	t/an	39814	
Vinasses, issues de céréales, production CH, ex-usine			
Teneur en eau (rapport de la masse à la masse totale)	% m/m	85.0%	
Teneur en carbone (matière humide)	kg/kg	0.051	
Contenu énergétique (matière humide)	MJ/kg	2.671	
Prix du marché moyen (matière humide)	CHF/kg	0.005	
Production annuelle	t/an	297796	
DDGS, issues de céréales, production CH, ex-usine			
Teneur en eau (rapport de la masse à la masse totale)	% m/m	8.0%	
Teneur en carbone (matière humide)	kg/kg	0.312	
Contenu énergétique (matière humide)	MJ/kg	16.376	
Prix du marché moyen (matière humide)	CHF/kg	0.250	
Production annuelle	t/an	48565	
Distance moyenne de la ferme à l'usine d'éthanol, camion	km	40.000	
Distance moyenne de la ferme à l'usine d'éthanol, tracteur	km	10.000	
Bioéthanol distribution			
Distance moyenne de la ferme à l'usine d'éthanol, train	km	100.000	
Distance moyenne de la ferme à l'usine d'éthanol, camion	km	150.000	
Pertes lors de la distribution	kg/kg	0.001	

Afin d'évaluer l'effet des spécificités régionales sur le bilan GES du bioéthanol, des variantes sont définies autour du cas de référence. Celles-ci se distinguent en particulier par la provenance des matières premières (MP) et de l'éthanol (ETOH), la distance entre l'exploitation agricole et l'usine d'éthanol, et la distance entre l'usine et le consommateur final (en Suisse). Les régions retenues ici pour la production d'éthanol sont la France (FR), l'Allemagne (DE), l'Espagne (ES) et les Etats-Unis (US). A chaque région sont associés une pratique agricole spécifique, un rendement de la production de céréales à l'hectare et un mix énergétique (énergie électrique et combustibles). Les variantes régionales sont définies au Tableau 2.

Tableau 2: Définition des variantes régionales

Variante	Provenance MP & ETOH	Transport MP	Transport ETOH
CH-50-CH-250-CH (REF)	CH	50 km	250 km
CH-500-CH-250-CH	CH	500 km	250 km
FR-50-FR-900-CH	FR	50 km	900 km
DE-50-DE-900-CH	DE	50 km	900 km
ES-50-ES-1800-CH	ES	50 km	1800 km
US-50-US-9890-CH	US	50 km	9890 km

Pour évaluer l'effet des choix méthodologiques sur le bilan CO₂ du bioéthanol, des variantes méthodologiques sont définies autour du cas de référence. Celles-ci se distinguent notamment par la méthode d'allocation des impacts entre le bioéthanol et les DDGS, et la prise en compte ou non de l'utilisation initiale

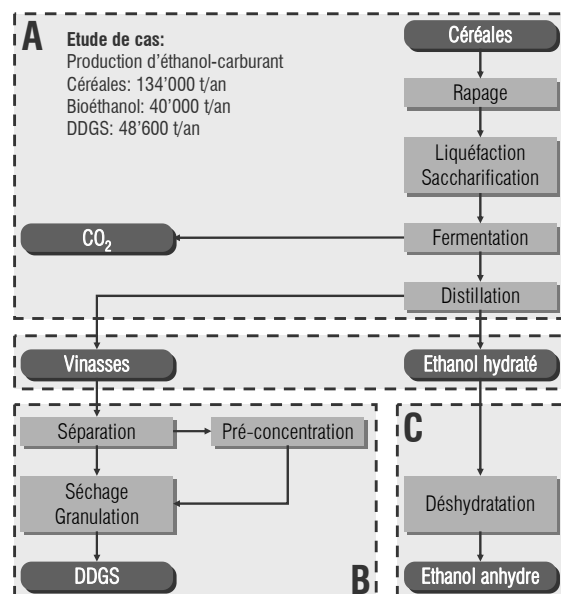
des surfaces agricoles, ou plus exactement de l'éventuel changement d'affectation de ces surfaces ('land use change', selon la terminologie de l'IPCC). Les critères retenus pour l'allocation sont la valeur économique, le contenu énergétique, la teneur en carbone et enfin la teneur en matière sèche (MS). La méthode de « substitution », appelée aussi « extension du système », est également appliquée. Dans ce cas, on fait l'hypothèse que les DDGS substituent des tourteaux de soja importés du Brésil, des Etats-Unis et de l'Argentine. Concernant l'utilisation du sol, on distingue deux cas : sans 'land use change' et avec (en considérant le passage de surfaces herbagées à des terres ouvertes). L'ensemble des variantes méthodologiques repose sur le cas de référence ('CH-50-CH-250-CH', selon la nomenclature utilisée au Tableau 2). Les variantes méthodologiques sont définies au Tableau 3.

Tableau 3: Définition des variantes méthodologiques

Variante	Land use change	Bioéthanol	DDGS
CH-€ (REF)	sans	29070 €	12140 €
CH-€, land use change	herbages → terres ouvertes	29070 €	12140 €
CH-MJ	sans	1060 TJ	800 TJ
CH-kgC	sans	21170 IC	15130 IC
CH-kgMS	sans	39690 IMS	44680 IMS
CH-Substitution	sans	-	48560 t

Le diagramme simplifié de la production de bioéthanol est présenté sur la Figure 1. On distingue ici les étapes communes (A), les étapes spécifiques à l'éthanol anhydre (B) et les étapes spécifiques aux DDGS (C). L'allocation (lorsqu'elle s'applique) est effectuée entre les co-produits au point de séparation, c'est-à-dire entre l'éthanol hydraté et les vinasses. Les impacts liés aux blocs B et C sont attribués en totalité respectivement aux DDGS et à l'éthanol.

Figure 1: Diagramme simplifié de la production de bioéthanol



3 MÉTHODOLOGIE

L'analyse de cycle de vie (ACV) ou « écobilan » permet de déterminer l'impact environnemental d'un système en relation avec une fonction particulière, mais aussi de comparer des systèmes entre eux. Les systèmes étudiés concernent la production d'éthanol-carburant (99,7% m/m) selon divers scénarios décrits précédemment. Les limites aval du système étant établies à la

station-service, l'unité fonctionnelle retenue est 1 kg d'éthanol-carburant (99,7% m/m) ». Le bilan CO₂ du bioéthanol selon les variantes est évalué depuis la production des céréales jusqu'au stockage de l'éthanol à la station-service.

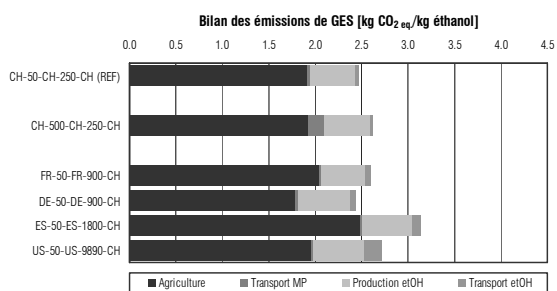
L'inventaire de cycle de vie est établi, pour chaque variante, à partir de différents modèles développés par le bureau ENERS Energy Concept et le Laboratoire de Systèmes Energétiques de l'EPFL (LASEN). Cet inventaire repose en majorité sur la base de données ecoinvent [11-13], développée par le Swiss Centre for Life Cycle Inventories, aujourd'hui l'une des références en la matière. Il fait état des ressources (énergie, produits chimiques, terrain, eau, infrastructures, etc.) consommées et des émissions polluantes sur l'ensemble de la chaîne de production, jusqu'au stockage de l'éthanol à la station-service.

La méthode retenue pour évaluer les émissions de GES et pour l'établissement du bilan de GES est celle de l'IPCC, aussi la plus couramment utilisée dans la littérature spécialisée pour les aspects relatifs à l'effet de serre. Les principaux GES sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O), avec des coefficients d'équivalence respectifs de 1, 23 et 296. Les autres GES jouent un rôle marginal. Selon un consensus international, tout le CO₂ d'origine biogénique capté par la plante par photosynthèse lors de sa croissance est émis lors des transformations de sorte que seules les émissions de CO₂ d'origine fossile sont comptabilisées.

4 RÉSULTATS

Les résultats de l'ACV des variantes régionales et méthodologiques sont présentés respectivement aux Figures 2 et 3. Le bilan des émissions de GES du scénario de référence atteint 2,468 kg CO₂ eq./kg d'éthanol.

Figure 2: Bilan GES des variantes régionales



Le diagramme de la Figure 2 appelle divers commentaires. Pour une filière donnée, les spécificités régionales ont un effet non négligeable sur le bilan GES. Si la variante DE affiche une très légère amélioration du bilan GES par rapport au cas de référence CH, la variante ES affiche en revanche une augmentation des émissions de GES de 27% par rapport au cas de référence. Ce phénomène s'explique essentiellement par une agriculture moins performante, notamment par un rendement plus faible, et donc une consommation de diesel accrue. L'effet des distances de transport (MP ou ETOH) joue en revanche un rôle marginal.

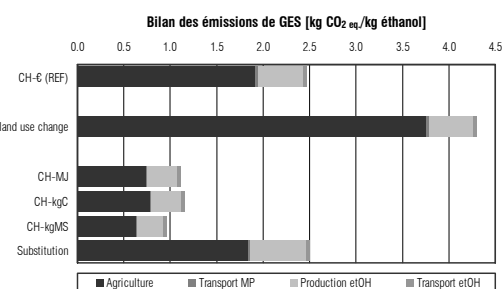
La phase agricole (hors transport des matières premières) représente entre 72% et 79% du bilan selon les variantes. La production d'éthanol et le transport atteignent respectivement 18-23% et 2-8% des émissions de GES. La part maximale pour les étapes de transport est atteinte dans le cas des scénarios CH-500-CH-250-CH et US-50-US-9890-CH.

Les émissions de GES lors de la phase agricole sont réparties entre émissions directes de N₂O (40-50%), émissions liées

à la combustion du diesel (10-20%) et émissions « indirectes » associées à la production et la mise à disposition des engrais et produits phytosanitaires (30-40%).

Le diagramme de la Figure 3 permet de constater que l'effet des choix méthodologiques est considérable et sensiblement plus prononcé que celui des spécificités régionales. D'après le cas étudié, les autres méthodes d'allocation (MJ, kgC et kgMS) affichent une réduction des émissions de GES de 55-60% par rapport au cas de référence (CH-€), soit un bilan de l'ordre de 1 kg CO₂ eq./kg d'éthanol. La variante « substitution » affiche en revanche un résultat très similaire au cas de référence.

Figure 3: Bilan GES des variantes méthodologiques



Enfin, la prise en compte de l'aspect « land use change » peut modifier considérablement les résultats du bilan GES pour une filière donnée. Selon le scénario de référence, la prise en considération du « land use change » (dans le cas d'un passage d'un herbage naturel à une exploitation en terres ouvertes) se traduit par une augmentation des émissions de GES de plus de 70%. Il convient toutefois de noter que le passage d'une exploitation destinée à l'alimentation à une exploitation tournée vers la production de biocarburants n'a aucune conséquence en termes de « land use change », ni de bilan GES. Ceci suppose bien entendu une substitution pure de l'utilisation du sol, sans compensation des produits destinés à l'alimentation.

5 CONCLUSIONS

L'analyse présentée dans cet article confirme que les choix méthodologiques ont une forte influence sur le bilan GES des biocarburants. La pratique agricole et les spécificités régionales jouent aussi un rôle significatif, bien que moins prononcé. Il est donc essentiel, compte tenu des enjeux politiques, économiques et environnementaux actuels, d'adopter une approche la plus transparente possible, d'identifier les déterminants majeurs et de tenir compte de façon rigoureuse des spécificités locales, afin de promouvoir une production et une utilisation durables des biocarburants.

Enfin, il est important de préciser que la présente analyse se limite à la comparaison de variantes d'approvisionnement de bioéthanol, sans tenir compte de la phase d'utilisation du biocarburant. Cet aspect reste toutefois un élément indispensable de la comparaison avec les carburants fossiles conventionnels, et du potentiel des biocarburants à réduire les émissions de GES dans le secteur des transports. Une analyse globale devrait aussi tenir compte des effets indirects liés au développement des biocarburants, qui peuvent affecter fortement le bilan GES.

6 RÉFÉRENCES

1. Commission des Communautés Européennes (2007). Proposition de Directive du Parlement Européen et du

- Conseil modifiant la directive 98/70/CE, COM(2007) 18 final, 2007/0019 (COD), 31.1.2007.
2. Bauen A., Watson P. & Howes J. (2007). Carbon Reporting within the Renewable Transport Fuel: Methodology. E4tech, 27.4.2007.
 3. Cramer J., et al. (2007). Testing framework for sustainable biomass, Final report from the project group 'Sustainable production of biomass'. Creative Energy, 7.4.2007.
 4. Confédération Suisse, Administration fédérale des douanes (2007). Modification de la loi sur l'imposition des huiles minérales: Les grandes lignes. DFF, AFD, 20.11.2007.
 5. Edwards R., et al. (2007). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Well-to-wheels report, version 2c. Concawe-Eucar-JRC, 1.3.2007.
 6. Zah R., et al. (2007). Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. EMPA, 22.5.2007.
 7. ADEME (2002). Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production des biocarburants, rapport technique. ADEME-DIREM-PriceWaterhouseCoopers, 5.11.2002.
 8. L-B-Systemtechnik (2002). GM Well-to-wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems: A European study. GM-LBST, 27.9.2002.
 9. VIEWLS (2005). Environmental and economic performance of biofuels, Volume I, Main report. VIEWLS Project. SenterNovem. 11.5.2005.
 10. Gnansounou E. & Dauriat A. (2005). Energy balance of bioethanol: A synthesis. Proc. of 14th European Biomass Conference & Exhibition, Paris, France, Oct. 2005.
 11. Frischknecht R., et al. (2004). The ecoinvent database: Overview and methodological framework. Int. J. LCA 10 (1) pp. 3-9, Oct. 2004.
 12. Frischknecht R. (2005). ecoinvent data v1.1 (2004). Int. J. LCA 10 (1) pp. 1-2.
 13. ecoinvent (2004). ecoinvent Centre, ecoinvent data v1.1, CD-ROM, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.